Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE CHLORURE D'HYDROGÈNE ET L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Canada

août 1984

85-2825/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE CHLORURE D'HYDROGÈNE ET L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
AOÛT 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication distribuée par la Section des publications
du Service de la protection de l'environnement,
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Hydrogen Chloride/Hydrochloric Acid
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. En 48-10/18-1984F
ISBN 0-662-92901-2
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VIII
	Liste des tableaux	IX
	Abréviations et symboles	X
	Définitions	XII
	Sigles	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
2.1	Propriétés physiques	4
2.2	Propriétés de constitution du chlorure d'hydrogène et de l'acide chlorhydrique	9
3	**Production, transport et commerce**	19
3.1	Qualités et titres des produits	19
3.2	Fabricants situés au Canada	19
3.3	Autres fournisseurs	19
3.4	Itinéraires utilisés pour le transport	20
3.5	Volume de production	20
3.6	Fabrication industrielle de l'acide chlorhydrique	20
3.6.1	Information générale	20
3.6.2	Procédés d'élaboration	20
3.6.2.1	Elimination de l'eau	21
3.6.2.2	Elimination du chlore	22
3.6.2.3	Elimination des matières organiques	22
3.7	Principales utilisations au Canada	22
3.8	Principaux acheteurs au Canada	22
3.8.1	Acide chlorhydrique	22
3.8.2	Chlorure d'hydrogène anhydre	23
4	**Manutention du produit et compatibilité**	24
4.1	Conteneurs et autres récipients de transport	24
4.1.1	Transport en vrac	24
4.1.1.1	Wagons-citernes	24
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	27
4.1.1.3	Conteneurs-citernes	27
4.1.2	Transports en fûts	28
4.2	Déchargement	30
4.2.1	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique	30
4.2.2	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes employés pour le transport du chlorure d'hydrogène	30
4.2.3	Déchargement des bouteilles à gaz	31
4.2.4	Matériaux de fabrication et spécifications des organes de déchargement	31
4.2.4.1	Le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux	31
4.2.4.2	L'acide chlorhydrique	
4.3	Compatibilité du chlorure d'hydrogène de l'acide chlorhydrique et des matériaux de fabrication	34
5	**Fuite et migration du produit**	41
5.1	Aperçu général	41
5.2	Fuite du produit	41
5.2.1	Introduction	41
5.2.2	Nomogrammes de fuites: acide chlorhydrique (aqueux)	42
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement	42

5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement	42
5.2.3	Nomogrammes de fuites: chlorure d'hydrogène	42
5.2.3.1	Perforation de la paroi inférieure: fuite de liquide	44
5.2.3.1.1	Pourcentage restant en fonction du temps	44
5.2.3.1.2	Débit de fuite en fonction de la taille de l'orifice	44
5.2.3.2	Perforation de la paroi supérieure: fuite de vapeurs	46
5.2.3.2.1	Pourcentage restant en fonction du temps	46
5.2.3.2.2	Débit de fuite en fonction de la taille de l'orifice	46
5.2.4	Exemples de calcul	46
5.3	Diffusion atmosphérique	48
5.3.1	Introduction	48
5.3.2	Nomogrammes et tableaux relatifs à la diffusion des vapeurs	48
5.3.2.1	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	51
5.3.2.2	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse	51
5.3.2.3	Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé	55
5.3.3	Exemple de calcul	55
5.4	Comportement dans l'eau	57
5.4.1	Introduction	57
5.4.2	Nomogrammes de diffusion du polluant dans l'eau	59
5.4.2.1	Diffusion dans les rivières non soumises aux marées	59
5.4.2.2	Diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	64
5.4.3	Exemples de calcul	64
5.4.3.1	Teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées	64
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	70
5.5	Comportement dans la subsurface	70
5.5.1	Mécanismes	70
5.5.2	Migration de l'acide chlorhydrique dans un sol non saturé	73
5.5.3	Coefficient de perméabilité de l'acide chlorhydrique en sol saturé	73
5.5.4	Types de sols	73
5.5.5	Nomogrammes de migration	73
5.5.6	Exemple de calcul	77
6	**Protection de l'environnement**	78
6.1	Limites maximales permises	78
6.1.1	Qualité de l'eau	78
6.1.2	Qualité de l'air	78
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	78
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux États-Unis	78
6.2.2	Mesures de toxicité	78
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	78
6.2.2.2	Toxicité en eau salée	79
6.3	Toxicité pour d'autres espèces vivantes	79
6.3.1	Toxicité pour le bétail	79
6.3.2	Toxicité pour les végétaux	80
6.3.2.1	Etudes sur les cultures	83
6.3.2.2	Etudes sur les végétaux	84
6.3.3	Toxicité pour les oiseaux	86
6.4	Etudes sur les effets toxiques	86
6.4.1	Bactéries	86
6.4.2	Effets du pH	86
6.4.2.1	Résumé des effets du pH	86
6.4.2.2	Réactions physiologiques à un pH faible	87
6.5	Devenir et effets à long terme	89
6.6	Autres effets	90
6.6.1	Effets possibles sur les procédés d'épuration des eaux	90
7	**Protection de la santé**	91
7.1	Normes d'exposition recommandées	92
7.1.1	Teneurs limites admissibles pour des expositions de courte durée	92

7.1.2	Indice de toxicité par inhalation	93
7.2	Données sur les propriétés irritantes	93
7.2.1	Contact avec la peau	93
7.2.2	Contact avec les yeux	94
7.3	Seuil de perception des caractères organoleptiques	94
7.3.1	Odeur	94
7.3.2	Goût	94
7.4	Études de toxicité à long terme	95
7.4.1	Inhalation	95
7.4.2	Ingestion	98
7.4.3	Absorption intrapéritonéale	98
7.5	Symptômes d'intoxication	98
7.5.1	Inhalation (vapeurs et aérosols)	99
7.5.2	Ingestion (acide chlorhydrique)	99
7.5.3	Contact avec la peau (vapeurs aérosols ou solution aqueuse)	99
7.5.4	Contact avec les yeux (vapeurs et aérosols)	100
7.6	Toxicité de produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme	100
7.6.1	Hydrogène et chlore	100
8	**Compatibilité chimique**	101
8.1	Compatibilité chimique du chlorure d'hydrogène et de divers produits chimiques	101
8.2	Compatibilité chimique de l'acide chlorhydrique et de divers produits chimiques	101
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	105
9.1	Mesures recommandées	105
9.1.1	Risques d'incendie ou d'explosion	105
9.1.2	Moyens d'extinction	105
9.1.3	Évacuation de la zone dangereuse	105
9.1.4	Mesures d'intervention en cas de déversements	106
9.1.4.1	Information générale	106
9.1.4.2	Déversements sur le sol	106
9.1.4.3	Déversements dans l'eau	106
9.1.5	Nettoyage et traitement	106
9.1.5.1	Déversements sur le sol	106
9.1.5.2	Déversements dans l'eau	107
9.1.5.3	Information générale	107
9.1.6	Élimination du polluant	107
9.1.7	Appareils et vêtements de protection	107
9.1.8	Entreposage	108
9.2	Équipement et produits spécialisés d'intervention	109
10	**Cas de déversement accidentel**	110
10.1	Bris d'un réservoir d'emmagasinage	110
11	**Identification et dosage des polluants**	111
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)	111
11.1.1	Électrode à ion spécifique	111
11.1.2	Colorimétrie	112
11.2	Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)	112
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)	113
11.3.1	Colorimétrie	113
11.3.2	Titrage au nitrate mercurique	113
11.3.3	Titrage potentiométrique	113
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)	114
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)	114
11.5.1	Colorimétrie et titrage	114
11.5.2	Titrage ampérométrique	114

11.6 Identification du polluant dans le sol (analyse qualitative) 114

12 Références et bibliographie 115
12.1 Références 115
12.2 Bibliographie 122

LISTE DES FIGURES

1	Diagramme de phase de l'acide chlorhydrique	12
2	Masse volumique des solutions	12
3	Pression de vapeur en fonction de la température	14
4	Masse volumique de la solution en fonction de la température	14
5	Pourcentage de HCl dans la vapeur	16
6	Viscosité du liquide en fonction de la température	16
7	Viscosité du gaz en fonction de la température	17
8	Diagramme de phase	17
9	Wagon-citerne – classe 111A100W5	25
10	Fût typique	29
11	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement	43
12	Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement	43
13	Perforation de la paroi inférieure ou de la paroi supérieure d'un wagon-citerne	44
14	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement	45
15	Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice	45
16	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	47
17	Débit de fuite du gaz en fonction du diamètre de l'orifice	47
18	Formation d'une bouffée de vapeurs	49
19	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	50
20	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	52
21	Conversion des unités de TLV®	54
22	Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé	56
23	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable. Exemple de problème	58
24	Zone dangereuse maximale sous un vent variable. Exemple de problème	58
25	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées	60
26	Distance en fonction du temps	61
27	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	62
28	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	63
29	Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente	65
30	Delta en fonction de alpha	66
31	Teneur maximale en fonction de delta	67
32	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	68
33	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	69
34	Migration dans le sol	71
35	Plan d'utilisation des nomogrammes	72
36	Migration dans du sable grossier	74
37	Migration dans du sable limoneux	75
38	Migration dans du till argileux	76

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	10
2	Spécifications des wagons-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique	24
3	Caractéristiques du wagon-citerne de classe 111A100W5	26
4	Spécifications des véhicules-citernes routiers employés pour le transport de l'acide chlorhydrique	27
5	Spécifications des conteneurs-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique	28
6	Fûts utilisés pour le transport de l'acide chlorhydrique	28
7	Spécifications des bouteilles à gaz utilisées pour le transport du chlorure d'hydrogène anhydre	29
8	Compatibilité du chlorure d'hydrogène, de l'acide chlorhydrique et de certains matériaux de fabrication	35
9	Résistance chimique de certains matériaux aux acides minéraux	40
10	Conditions météorologiques	51
11	Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse	53

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
C	Coulomb
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
C_p	Chaleur massique
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
$D_{éq}$	Diamètre équivalent
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
k	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Ω	Ohm
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
P_i	Pression interne
P_{vs}	Pression de vapeur saturante
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte

TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
vol.	Volume
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⅋	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

Chlorure d'hydrogène (HCl gazeux) et acide chlorhydrique (HCl aqueux)

Le chlorure d'hydrogène est un gaz, de formule HCl, qui est un composé hydrogéné du chlore. La solution de ce gaz dans l'eau porte le nom d'acide chlorhydrique. À l'état liquide, il est de couleur jaune pâle et dégage une odeur âcre irritante.

Synonymes

Acide chlorhydrique anhydre, acide muriatique, esprit de sel.

Numéros d'identification

UN 1050 (chlorure d'hydrogène, anhydre); UN 2186 (acide chlorhydrique, liquide réfrigéré); CAS 7647-01-0; OHM-TADS 7216748; STCC 4904270 (chlorure d'hydrogène, anhydre); STCC 4930228 (acide chlorhydrique, liquide réfrigéré).

Qualités et teneurs

À l'état anhydre (chlorure d'hydrogène), sa teneur en HCl est de 99 p. 100. En solution (acide chlorhydrique), à 18 °Bé, son titre est de 27,9 p. 100, à 20 °Bé, de 31,5 p. 100 et à 22 °Bé, de 35,2 p. 100.

Dangers immédiats

Incendie. – Sous l'effet de la chaleur, l'acide chlorhydrique et le chlorure d'hydrogène liquéfié sous pression dégagent du chlorure d'hydrogène gazeux toxique et corrosif.
Effet sur l'homme. – Modérément toxique par toutes les voies. Extrêmement corrosif pour tout tissu vivant.
Effet sur l'environnement. – Nuisible pour la vie aquatique, dans certains cas à une teneur aussi faible que 3,6 mg/l. La limite minimale de survie pour la plupart des poissons est un pH de 5.

Données relatives aux propriétés physiques

		Acide chlorhydrique		
	Anhydre	18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
État à l'expédition	Liquide (gaz liquéfié sous pression)	Liquide	Liquide	Liquide
État à 15 °C; 1 atm	Gaz	Liquide	Liquide	Liquide
Point d'ébullition	-85,05 °C	Forme un mélange distillant à point fixe de 22 p. 100 à 108,6 °C		
Point de fusion	-114,22 °C	-62 °C	-42 °C	-35 °C
Inflammabilité	Non combustible	Non combustible		
Tension de vapeur	4330 kPa à 21,1 °C	1,87 kPa à 20 °C	3,2 kPa à 20 °C	13,3 kPa à 20 °C

Densité relative de l'état liquide (eau = 1)	1,05 à -155 °C	1,15 à 20 °C	1,16 à 20 °C	1,18 à 20 °C
Solubilité dans l'eau	50,6 g/100 ml à 20 °C	Complètement miscible		
Comportement dans l'eau	Bout, coule au fond et se mélange, avec dégagement de chaleur	Coule au fond et se mélange, avec dégagement de chaleur		
Comportement dans l'air	Se vaporise rapidement			
Gamme des teneurs perceptibles par l'appareil olfactif	0,13 ppm à 10 ppm			

Danger pour l'environnement

L'acide chlorhydrique (anhydre ou en solution) présent dans l'eau même en faibles doses est très nuisible pour la vie aquatique, principalement à cause de son acidité. Il ne présente cependant aucun danger de bioconcentration ou de bio-amplification (le long de la chaîne alimentaire).

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible établie par l'ACGIH (TLV®): 5 ppm (7 mg/m^3).
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH): 100 ppm (à l'état anhydre).
Effets en cas d'inhalation. – Les vapeurs et les brouillards endommagent les voies respiratoires supérieures, provoquent des toux, des brûlements de la gorge et une suffocation.
Effets en cas de contact. – L'acide chlorhydrique est extrêmement irritant et peut causer des brûlures sévères à la peau, aux paupières et aux yeux et rendre aveugle.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Produit corrosif». Avertir le fabricant. Arrêter l'écoulement et confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide ou les vapeurs. Rester en amont du vent par rapport au sinistre. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

Le produit n'est pas combustible. Refroidir à l'eau du plus loin possible les récipients exposés à la chaleur du feu. Ne pas s'approcher des extrémités des citernes.

Mesures d'intervention d'urgence

- Acide chlorhydrique répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner le produit déversé. Enlever le produit à l'aide de pompes ou d'un appareil aspirateur. Absorber les petites quantités déversées avec du bran de scie, du sable ou un sorbant synthétique et mettre dans des contenants munis d'un couvercle. Neutraliser le sol contaminé avec de la chaux (hydroxyde de calcium).

- Acide chlorhydrique déversé dans l'eau

Confiner le produit déversé à l'aide de barrages ou d'un dispositif de dérivation. Neutraliser avec de la chaux. Enlever les sédiments contaminés du fond au moyen de dragues mécaniques ou d'une pompe à vide.

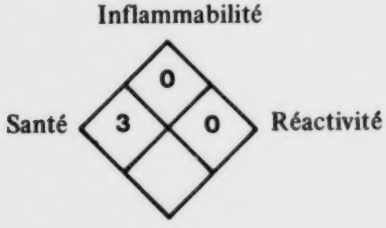
- Fuite de chlorure d'hydrogène dans l'atmosphère

Employer un jet d'eau pulvérisé ou vaporisé pour rabattre les vapeurs au sol et les disperser. Confiner l'eau de ruissellement pour traitement ou mise en décharge spéciale ultérieurs.

Niveau de gravité du risque selon la NAS (étatsunienne)

CATÉGORIE	NIVEAU	
	Anhydre	En solution
Incendie	0	0
Santé		
Irritation causée par des vapeurs	4	3
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	3	3
Intoxications	3	2
Pollution de l'eau		
Toxicité pour l'homme	2	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	2	2
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2	2
Réactivité		
Autres produits chimiques	4	3
Eau	2	0
Réaction spontanée	0	0

Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)



2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

2.1 Propriétés physiques

		Acide chlorhydrique		
	Chlorure d'hydrogène	18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
Aspect	Gaz incolore qui fume au contact de l'air humide (HCG, 1981)	Liquide blanc ou jaune pâle (Dow MSDS, 1978, 1979 a, b, 1980). La couleur provient des impuretés comme le Fe, le Cl_2, et les matières organiques (Merck, 1983)		
État à l'expédition	État liquide, gaz liquéfié sous pression (HCG, 1981)	État liquide (MCA, 1970)		
État physique à 15 °C, 1 atm	Gaz	Liquide		
Point de fusion	-114, 22 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Point de congélation		Approx. -62 °C (calculés d'après Linke, 1958)	-42 °C	-35 °C
Point d'ébullition	-85,05 °C (Kirk-Othmer, 1980)	Toutes les solutions commerciales aqueuses de HCl tendent vers un mélange à point d'ébullition constant contenant 20,22 p. 100 de HCl et qui bout à 108,584 °C à une densité relative de 1,0959 (25 °C) (Kirk-Othmer, 1980)		
Pression de vapeur	4330 kPa à 21,1 °C (Matheson, 1980)	1,87 kPa à 20 °C (PPG, 1979)	3,2 kPa à 20 °C	13,3 kPa à 20 °C
Température de décomposition	1782 °C (HCG, 1981) Pourcentage de dissociation à différentes températures: $4,5 \times 10^{-7}$ à 25 °C 0,342 à 800 °C 2,74 à 1573 °C 5,55 à 2000 °C 8,73 à 2500 °C 14,7 à 3727 °C (PPG, 1979)			
Densités				
Densité relative	1,267 à 25 °C; air = 1 (Matheson, 1980)	1,1417 à 20 °C; eau = 1 (Kirk-Othmer, 1980)	1,1600 à 20 °C; eau = 1 (Kirk-Othmer, 1980)	1,1789 à 20 °C; eau = 1 (Kirk-Othmer, 1980)

	Chlorure d'hydrogène	Acide chlorhydrique		
		18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
Masse volumique		1,1391 g/ml à 20 °C (CRC, 1980)	1,1594 g/ml à 20 °C (CRC, 1980)	1,1752 g/ml à 20 °C (CRC, 1980)
	À l'état gazeux: 1,6391 kg/m^3 à 0 °C (Raznjevic, 1976) 1,500 kg/m^3 à 25 °C (Matheson, 1980)			
	À l'état liquide: 1,045 g/ml à -155 °C (Kirk-Othmer, 1980) 1,480 g/cm^3 à -174,5 °C (forme cubique) (Kirk-Othmer, 1980)			
	À l'état solide: 1,507 g/cm^3 (-192,2 °C) (forme rhombique) (Kirk-Othmer, 1980)			
Propriétés relatives à la combustion				
Inflammabilité	Non combustible (NFPA, 1978)	Non combustible (DuPont MSDS, 1979)		
Énergie de dissociation	431,62 kJ à 25 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Produits de dissociation	Hydrogène et chlore			
Comportement dans un incendie	Aux températures supérieures à 600 °C, il y a réaction et dissociation importantes. L'hydrogène résultant est inflammable et explosif (Kirk-Othmer, 1980)	Au contact de métaux, il y a libération d'hydrogène qui, en s'enflammant, peut provoquer un incendie ou une explosion (MCA, 1970)		
Autres propriétés				
Masse moléculaire de la substance pure	36,46 (CRC, 1980)			
Composition caractéristique de la qualité commerciale	Qualité technique: minimum de 99 p. 100 de HCl (Dow MSDS, 1980) Qualité électronique: minimum de 99,99 p. 100 de HCl (Linde, 1981)	27,92 p. 100 de HCl (Kirk-Othmer, 1980)	31,45 p. 100 de HCl (Kirk-Othmer, 1980)	35,21 p. 100 de HCl (Kirk-Othmer, 1980)
Indice de réfraction	À l'état liquide: 1,254 à 10 °C À l'état gazeux: 1,000 445 6 à 0 °C	1,3976 à 20 °C (CRC, 1980)	1,4066 à 20 °C (CRC, 1980)	1,4140 à 20 °C (CRC, 1980)
Viscosité	À l'état liquide: 0,405 mPa · s à -15,5 °C (Kirk-Othmer, 1980)	1,62 mPa · s à 20 °C (CRC, 1980)	1,80 mPa · s à 20 °C (CRC, 1980)	2,0 mPa · s à 20 °C (CRC, 1980)

		Acide chlorhydrique		
	Chlorure d'hydrogène	18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
	À l'état gazeux: 0,0131 mPa · s à °C (Kirk-Othmer, 1980); 0,0148 mPa · s à 25 °C (Matheson, 1980); 0,0253 mPa · s à 25 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Hygroscopicité	Très hygroscopique (MCA, 1970)	Hygroscopique (MCA, 1970)		
Chaleur latente de fusion	54,646 kJ/kg à -114,22 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Chaleur latente de sublimation	527,2 J/g à 20 °C (Perry, 1973)			
Chaleur latente de vaporisation	442,73 kJ/kg à -85,05 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Chaleur de formation	-92,31 kJ/mol à 25 °C (JANAF, 1971)			
Potentiel d'ionisation	À l'état gazeux: 12,74 eV (Rosenstock, 1977)	Dans l'eau: 20,51 J ou 0,2 eV (Kirk-Othmer, 1980)		
Chaleur de dissolution	-74,8 kJ/mol à 25 °C (CRC, 1980)			
Capacité thermique massique	À l'état gazeux: 0,7998 kJ/(kg . °C) à 0 °C;			
• à pression constante ($P_{const.}$)	0,8380 kJ/(kg · 700 °C) (Kirk-Othmer, 1980) À l'état liquide: 1,656 kJ/(kg · °C) à -110 °C (HCG, 1981)			
• à volume constant ($vol._{const.}$)	À l'état gazeux: 0,58 kJ/(kg · °C) à 156 °C (HCG, 1981)			
• $P_{const.}/vol._{const.}(y)$	1,404 à 0 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Pression critique	8316 kPa (Kirk-Othmer, 1980)			

		Acide chlorhydrique		
	Chlorure d'hydrogène	18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
Température critique	51,54 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Point triple	-114,25 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Coefficient de dilatation thermique x 10^{-3}/°C à 20 °C	3,72 (Perry, 1973); 3,77 à pression constante à 0 °C (CRC, 1957); 3,734 à volume constant entre 0 °C et 100 °C (CRC, 1957)	0,455 pour une solution à 33,2 p. 100, cubique (Lange's Handbook, 1979)		
Conductivité thermique	À l'état liquide: 335 mW/(m · K) à -155 °C À l'état gazeux: 13,4 mW/(m · K) à 0 °C (Kirk-Othmer, 1980)	9,8 mW/(m · K) (Lange's Handbook, 1979)		4,4 mW/(m · K) (Lange's Handbook, 1979)
Teneur saturante (calculée)	5840 g/m^3 à -51 °C (CRC, 1980)			
Diffusivité	3,10 x 10^{-5} cm^2/s dans l'eau à 25 °C, 0,1 *M* (Perry, 1973); 3,436 x 10^{-5} cm^2/s dans l'eau à 25 °C, 1 *M* (CRC, 1982)			
pH de la solution		1,1 pour une solution de 0,1 *N* à 25 °C; 0,1 pour une solution de 1 *N* à 25 °C (CRC, 1982)		
Compositions eutectiques	Solution aqueuse à 24,8 p. 100; point de congélation à -86 °C (Lange's Handbook, 1979)			
Moment dipolaire	3,74 C/m^2 (Kirk-Othmer, 1980)			
Tension superficielle	23 mN/m à -155 °C (Kirk-Othmer, 1980); 24,718 mN/m à -92,9 °C (Matheson, 1980); 71,75 mN/m pour une solution à 16,97 p. 100, 70,55 mN/m pour une solution à 23,74 p. 100, 65,75 mN/m pour une solution à 35,29 p. 100 (CRC, 1982)			

	Chlorure d'hydrogène	Acide chlorhydrique 18 °Bé	20 °Bé	22 °Bé
Constante diélectrique	À l'état liquide: 14,2 à -114,22 °C À l'état gazeux: 1,0046 à 25 °C (Kirk-Othmer, 1980)			
Conductivité électrique	$1,7 \times 10^{-7}\ \Omega^{-1}\ m^{-1}$ à -114,22 °C $3,5 \times 10^{-7}\ \Omega^{-1}\ m^{-1}$ à -87,6 °C			
Solubilité				
• dans l'eau	82,3 g/100 ml à 0 °C (CRC, 1980) 50,6 g/100 ml à 20 °C (Dow MSDS, 1980) 67,3 g/100 ml à 30 °C (CRC, 1980) 63,3 g/100 ml à 40 °C (CRC, 1980) 59,6 g/100 ml à 50 °C (CRC, 1980) 56,1 g/100 ml à 60 °C (CRC, 1980)			
• dans d'autres produits courants	Soluble dans l'éthanol, l'oxyde d'éthyle et le benzène (CRC, 1980)			

Voici quelques solubilités:

Solvant	Solubilité (en grammes par 100 g)	Température (°C)
Benzène	0,2	20
	0,125	40
Chloroforme	0,85	15
	0,69	25
Dioxane-1,4	43,3	10
Éthanol	83,8	0
	75,6	10
	68,1	20
	61,0	30
Éther de dibutyle	25,0	10
Éther de diisopropyle	34,9	10
n-hexadécane	0,33	27
	0,22	102
n-hexane	0,71	
Méthanol	109,2	0
	87,7	20
	68,8	40
Tétrachlorure de carbone	0,60	20
	0,39	50
Tétrahydro-furanne	58,4	10
Toluène	0,213	20

(Ullmann, 1975)

Facteur de conversion (en caractères gras) **des unités de masse en unités de volume pour les vapeurs**

1 ppm = **1,487** mg/m^3 à 20 °C
(Verschueren, 1977)

2.2 Propriétés de constitution du chlorure d'hydrogène et de l'acide chlorhydrique

Le chlorure d'hydrogène est un gaz incolore qui peut être condensé en un liquide incolore et gelé en un solide blanc cristallin. Il dégage une odeur âcre et émet des vapeurs à l'air libre. Le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux est thermiquement stable, comme le montre le tableau qui suit sur la dissociation en éléments:

$$2\ HCl\ (gazeux) \rightleftharpoons H_2\ (gazeux) + Cl_2\ (gazeux)$$

Température (°K)	Pourcentage de dissociation (valeurs calculées)
298	$4{,}5 \times 10^{-7}$
473	$4{,}5 \times 10^{-4}$
673	$1{,}5 \times 10^{-2}$
873	0,10
1073	0,342
1273	0,73
2273	5,55
4000	14,7

Lors du choix des matériaux de construction de l'équipement destiné au transport et à l'emmagasinage du chlorure d'hydrogène, il faut tenir compte de la dissociation de ce gaz en ses éléments dont l'un, le chlore libre, est extrêmement corrosif. Dans des conditions normales, on peut l'expédier sans problème à l'état gazeux dans des gazoducs en acier doux, sur des distances moyennes. Au-dessus de 600 °C (873 K), le chlorure d'hydrogène anhydre réagit de façon beaucoup plus prononcée au contact des métaux. Il semble que la réaction du chlorure d'hydrogène résulte du chlore libre obtenu par la dissociation ou par l'oxydation de HCl par l'air contaminant.

$$4\ HCl + O_2 \rightarrow 2\ H_2O + 2\ Cl_2$$

La vitesse de corrosion de l'acier doux par le chlorure d'hydrogène anhydre à 300 °C est d'environ 0,25 cm par année. On n'a pas observé d'inflammation à 760 °C. La vapeur d'eau n'a aucun effet sur la vitesse de corrosion des métaux aussi longtemps qu'il ne se forme pas de pellicule d'humidité sur leur surface. En général, des températures de 130 °C ou plus peuvent être employées à la pression atmosphérique pour tous les mélanges de chlorure d'hydrogène gazeux et de vapeur d'eau. La réaction du gaz anhydre au contact des métaux, prévisible thermodynamiquement pour la plupart des métaux et quoique très lente, est décrite par l'équation suivante:

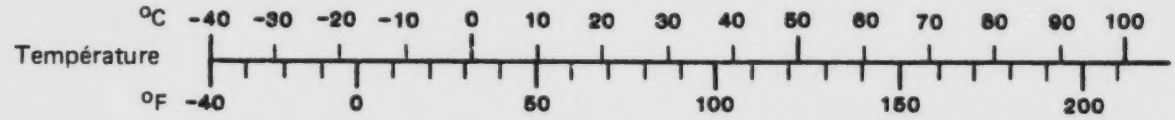
$$M + n\ HCl \rightarrow MCl_n + n/2\ H_2$$

où *M* représente un des métaux.

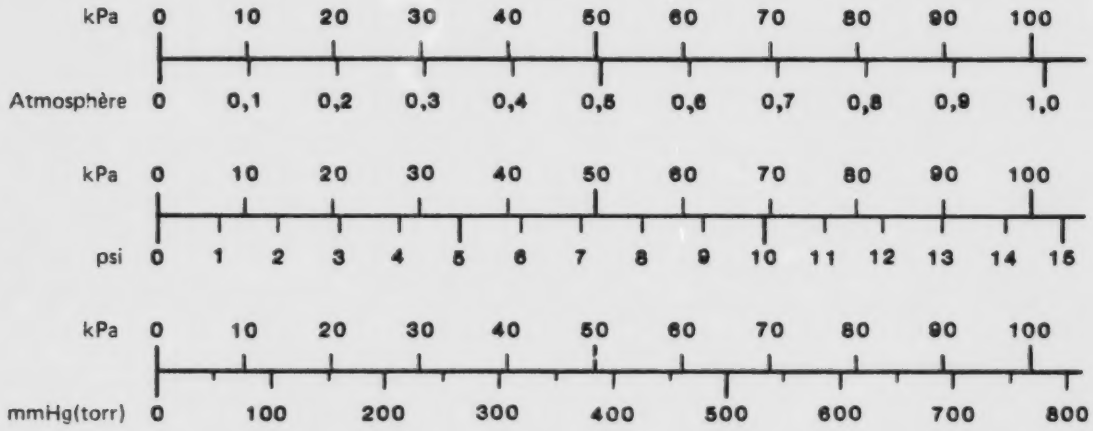
On a observé que le chlore d'hydrogène gazeux réagissait au contact du silicone en poudre à 250 °C en produisant du trichlorosilane ($HSiCl_3$) et du tétrachlorure de silicone ($SiCl_4$) et au contact des vapeurs de sodium et de potassium.

Tableau 1

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **NOMOGRAMMES DE CONVERSION**



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa



Viscosité

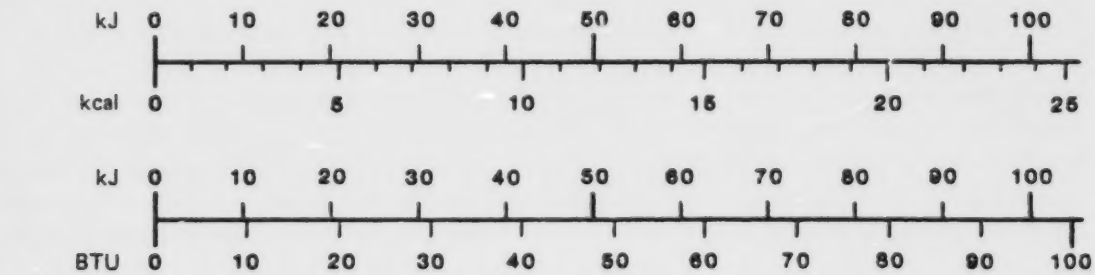
Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

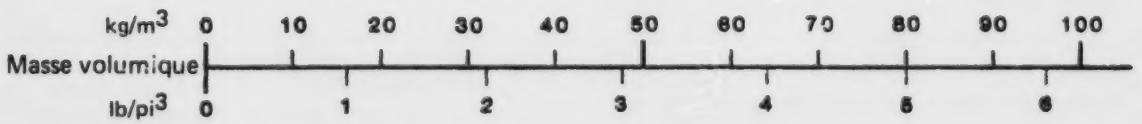
Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J





Le chlorure d'hydrogène existe à l'état liquide à une gamme très restreinte de températures (29 °C à 101 kPa) et semble montrer une liaison hydrogène limitée:

$$3\ HCL \rightleftharpoons H_2Cl^+ + HCl^-_2$$

L'auto-ionisation ne se produit que de façon limitée. On n'a isolé aucun sel de la première espèce; toutefois, on a identifié des sels de la seconde espèce comme $3\ CsX \cdot H_3O^+ \cdot HCl^-_2$.

Sa constante diélectrique change suivant la température et est plus basse que celle des autres solvants dotés d'un pouvoir ionisant similaire. Plusieurs composés organiques forment des solutions conductrices dans le chlorure d'hydrogène liquide. À cause de la gamme limitée des températures auxquelles il est à l'état liquide et des basses températures requises pour sa liquéfaction, il existe peu d'études sur le chlorure d'hydrogène en solution.

Le chlorure d'hydrogène à l'état solide est un solide cristallin constitué de chaînes en zigzag de molécules à liaison hydrogène. Des études de la résonance magnétique nucléaire du proton à basses températures ont également prouvé l'existence d'un dimère, $(HCL)_2$. Le chlorure d'hydrogène à l'état solide existe sous trois formes: deux sont cubiques et la troisième est rhombique, avec des masses volumiques respectives de 1,469 g/cm^3 à -166,15 °C, 1,48 g/cm^3 à -174,79 °C et 1,507 g/cm^3 à -192,15 °C. La troisième forme (rhombique) est ferro-électrique, c'est-à-dire une substance cristalline qui à certaines températures montre une déformation naturelle ou inhérente (polarisation) des champs électriques ou des électrons associés aux atomes et aux groupements dans les chaînes constituantes du cristal, ce qui entraîne le développement de pôles positifs et négatifs et une direction de polarisation qui peut être renversée quand le cristal est exposé à un champ électrique externe.

Les pressions de vapeur du chlorure d'hydrogène à l'état solide et à l'état liquide sont exprimées par l'équation:

$$\mathrm{Log}_{10}P(\text{en kPa}) = -k/T_n + 6{,}628$$

où k = 1966,3 et n = 1,1600 lorsque le chlorure d'hydrogène est à l'état solide, et k = 945,7 et n = 1,0160, lorsqu'il est à l'état liquide. Sa chaleur massique à l'état gazeux est exprimée par l'équation:

$$C_p = a + bT + cT^2 \text{ (en joules)}$$

où a = 28,1663, b = 1,8096 x 10^{-3} et c = 15,4692 x 10^{-7}.

Le chlorure d'hydrogène est extrêmement soluble dans l'eau. Ses solutions ne sont pas conformes aux lois de Raoult et de Henry et dévient même totalement de la dernière, à toutes les teneurs mesurées. Selon la loi de Raoult, la tension de vapeur d'une substance, en équilibre avec la solution qui la contient, est égale au produit de la fraction moléculaire de la substance dissoute et de la pression de vapeur de la substance pure à la température de la solution (la loi ne s'applique pas à la plupart des solutions, quoique quelques-unes s'y conforment étroitement). Selon la loi de Henry, quand un liquide et un gaz restent en contact, le poids du gaz qui se dissout dans une quantité donnée de liquide est proportionnel à la pression du gaz au-dessus du liquide. La solubilité du chlorure d'hydrogène à différentes températures ainsi que les pressions de vapeur et teneurs sont données dans le présent manuel.

Le chlorure d'hydrogène forme quatre différents hydrates avec l'eau. Le monohydrate $HCl \cdot H_2O$ fond à -15,35 °C et possède des couches qui ressemblent beaucoup à celles de l'arsenic

Figure 1

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **DIAGRAMME DE PHASE DE $HCl \cdot H_2O$**

Références: Linke, 1958; Kirk-Othmer, 1980; CRC, 1980

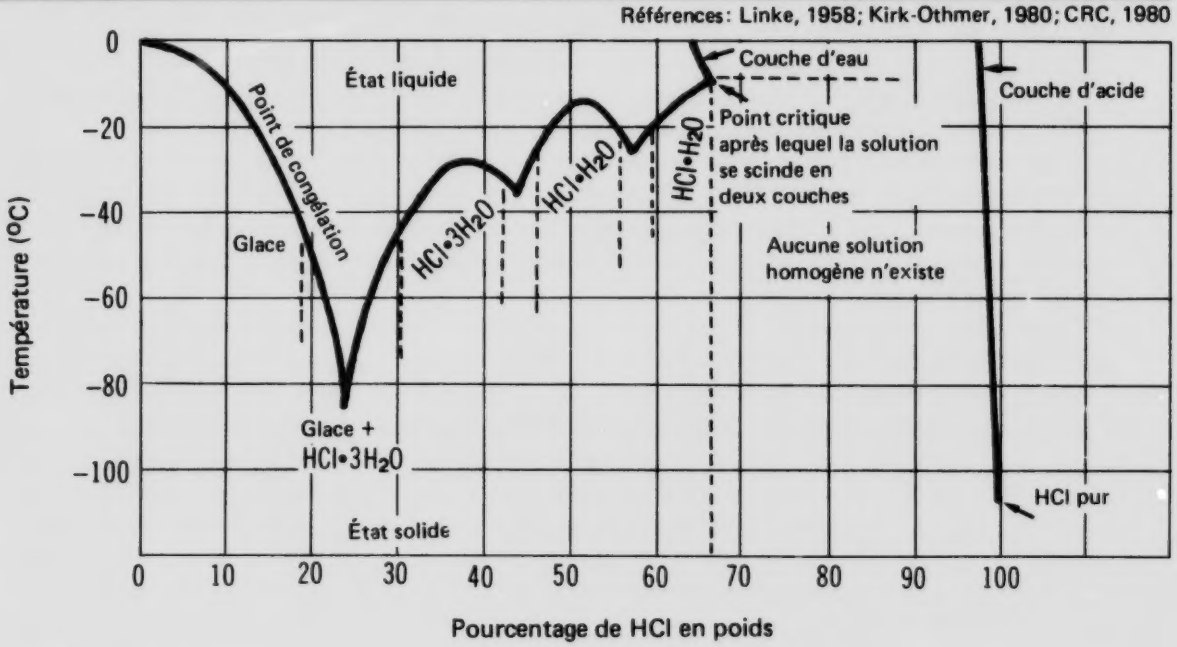
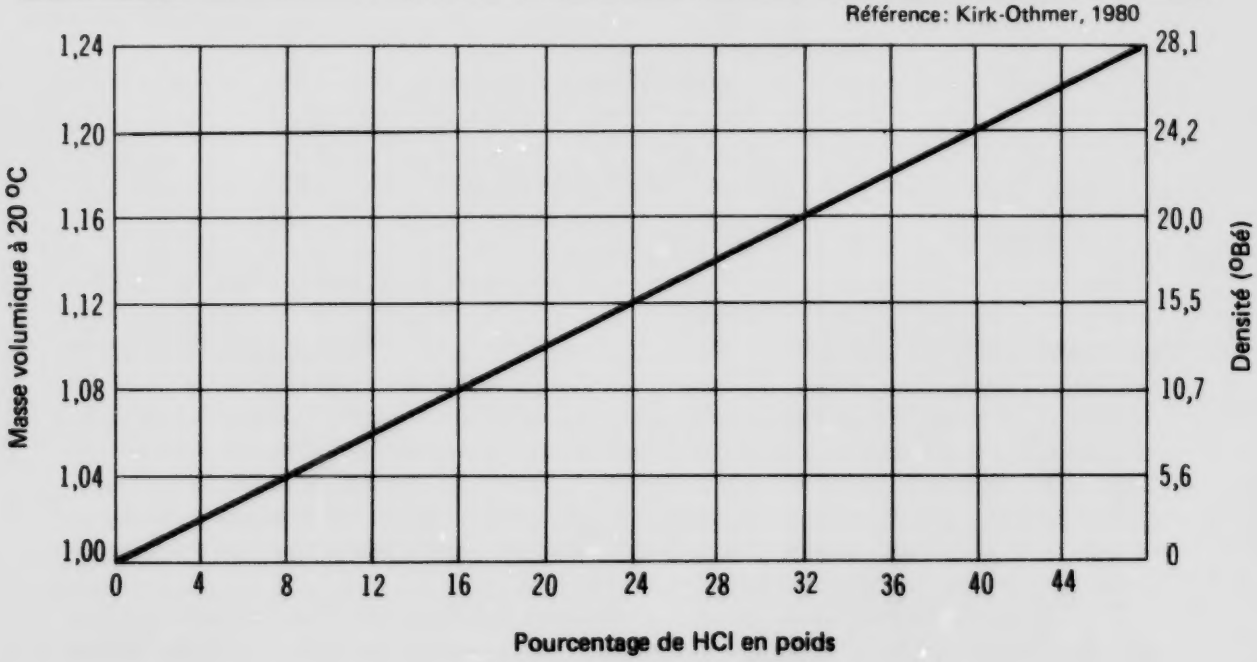


Figure 2

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **MASSE VOLUMIQUE DES SOLUTIONS**

Référence: Kirk-Othmer, 1980



élémentaire, avec une alternance des atomes d'oxygène et de chlore. Les unités sont probablement des ions Cl^- et H_3O^+. Le dihydrate $(H_2O)_2H^+Cl^-$, vérifié par analyse par rayons X, provient du refroidissement à la pression atmosphérique de la solution saturée. Il se dissocie à -18,3 °C dans un récipient ouvert, et son point de fusion est de -17,7 °C dans un tube scellé. Le trihydrate $HCl \cdot 3\ H_2O$ fond à -24,9 °C. L'hexahydrate $HCl \cdot 6\ H_2O$, très instable, fond à -70 °C. L'addition de chlorure d'hydrogène à de l'eau pure abaisse le point de congélation jusqu'à une température eutectique d'environ -85 °C à une teneur de 25 p. 100 en chlorure d'hydrogène (teneur qui correspond à la composition de l'hexahydrate, à 25,24 p. 100). Un ajout de gaz élève le point de congélation d'abord au niveau de celui du trihydrate et ensuite au niveau de celui du dihydrate et du monohydrate. Une addition supplémentaire de HCl résulte dans la séparation de l'eau et des couches d'acide. Ceci se produit à une température de -15,35 °C et à une teneur de 66,8 p. 100. Il n'y a pas de solution stable entre 66,8 p. 100 et 100 p. 100 (HCl pur). En plus de former des hydrates, le mélange de chlorure d'hydrogène et de l'eau peut constituer des mélanges à point d'ébullition constant. À la pression atmosphérique, le mélange bout à 108,584 °C, sa densité relative est de 1,0959 à 25 °C, et le pourcentage en poids du chlorure d'hydrogène est de 20,222 (pourcentage molaire de $H_2O/HCl = 7,99$).

Le gaz est complètement ionisé dans toutes les solutions aqueuses sauf celles qui sont trop concentrées:

$$HCl\ (gazeux) \rightleftharpoons H^+\ (aqueux) + Cl^-\ (aqueux) \qquad (1)$$

dont l'énergie d'activation à partir de l'état initial ΔH^0 est de -2110,9 kJ/kg (dilution infinie, à 25 °C et 101,3 kPa).

$$HCl\ (aqueux) \rightleftharpoons H^+\ (aqueux) + Cl^-\ (aqueux) \qquad (2)$$

dont l'énergie d'activation à partir de l'état initial ΔH^0 est de -1616,5 kJ/kg (dilution infinie, à 25 °C et 101,3 kPa).

La viscosité des solutions d'acide chlorhydrique augmente un peu avec la hausse de la teneur, et le phénomène est relié à la concentration molaire c. Comme le montre l'équation suivante:

$$(n - n_0)n_0 = 0,0030 + 0,620C^{0,5} + 0,0008\ c$$

où n_0 représente la viscosité de l'eau à 25 °C (0,8904 mPa · s). La tension superficielle des solutions diluées d'acide chlorhydrique, qui se rapproche de celle de l'eau à 25 °C (71,97 mN/m), descend lentement à mesure que la teneur augmente. La constante diélectrique diminue légèrement par rapport à celle de l'eau à 25 °C (78,30) à mesure que la teneur en chlorure d'hydrogène augmente jusqu'à un minimum de 0,2 p. 100, point où elle commence à remonter lentement jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur un peu plus élevée que celle de l'eau. La chaleur massique du chlorure d'hydrogène en solution aqueuse diminue à mesure que la température baisse lorsque la solution aqueuse a une certaine concentration; la chaleur massique du chlorure d'hydrogène en solution aqueuse diminue également si son titre augmente à une température donnée. La conductivité équivalente du chlorure d'hydrogène en solution aqueuse augmente à la suite d'une hausse de la température à une teneur donnée, et diminue à la suite d'une augmentation du titre de la solution, à une température donnée.

Figure 3

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **PRESSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng., 1974

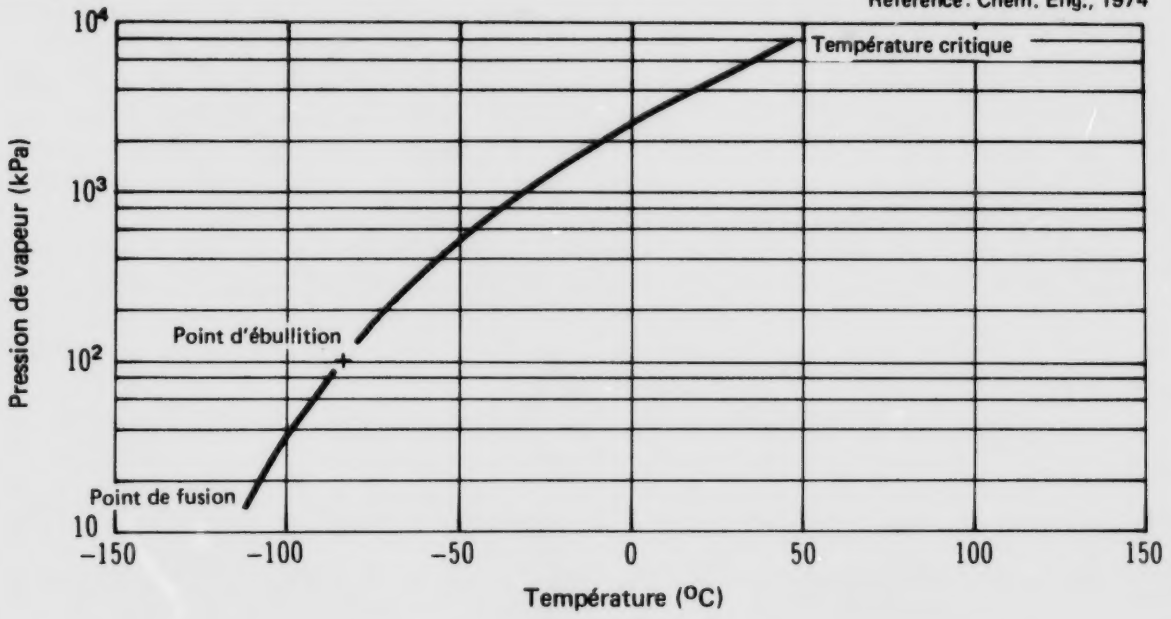
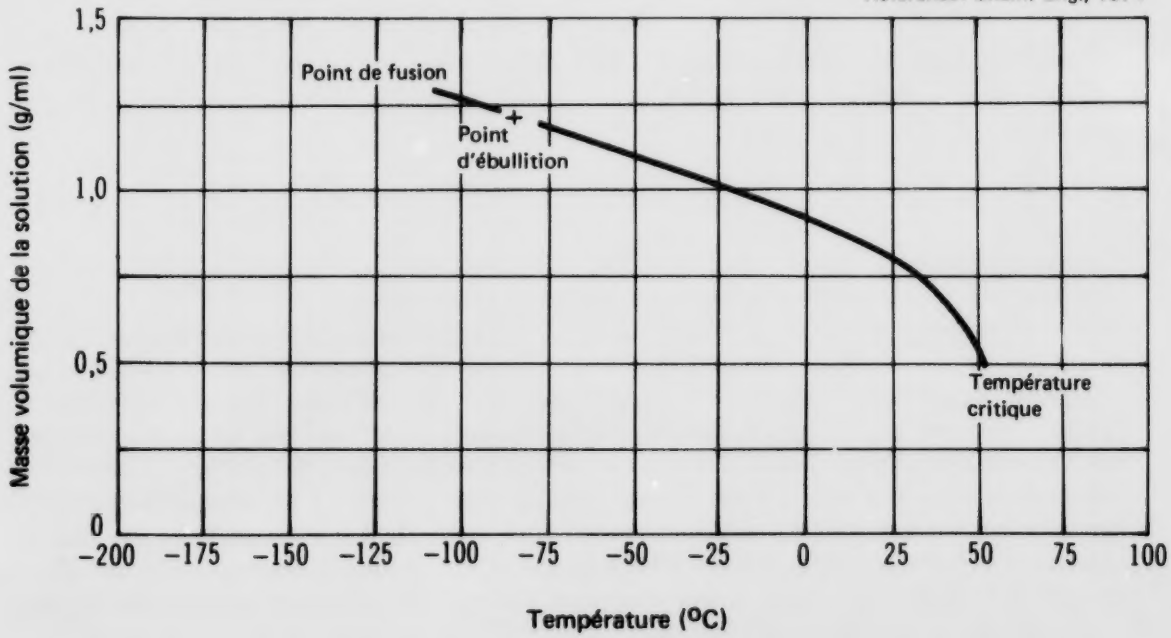


Figure 4

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **MASSE VOLUMIQUE DE LA SOLUTION EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng., 1974



Le chlorure d'hydrogène peut réagir par une fission hétérolytique ou homolytique de la liaison H-Cl; toutefois, parce que le matériau anhydre possède une barrière qui s'oppose à l'énergie cinétique des deux types de fissions, il est relativement inerte. Le premier type de fission consiste en une rupture asymétrique de la molécule (les électrons demeurant couplés), alors que le second type consiste en une rupture symétrique (les paires d'électrons étant séparées); H^+ et Cl^- illustrent le premier type de fission, et H· et Cl·, le second. Le matériau anhydre a les réactions types suivantes:

a) Avec les hydrures du groupe V comme NH_3, PH_3 ou AsH_3:

$$MH_3 + HCl \rightarrow MH_4^+ + Cl^-$$

où *M* représente un hydrure du groupe V.

b) Avec les nitrures, les borures, les siliciures, les germaniures, les carbures et les sulfures, il y a formation, à une vitesse notable et à des températures de plus de 650 °C, de chlorures métalliques et d'hydrures correspondants comme NH_3, H_2S, etc.

c) Avec les hydrures de silicium, de germanium et de bore:

$$MH_4 + HCl \rightarrow MH_3Cl + H_2$$
$$MH_3Cl + HCl \rightarrow MH_2Cl_2 + H_2$$

où *M* représente un des hydrures précipités.

Il peut se produire une substitution complète du chlorure comme dans le cas de $SiCl_4$.

d) Avec les oxydes métalliques, c'est-à-dire les oxydes métalliques de transition: ce type de réaction, qui a fait l'objet d'études approfondies exigeant des températures de plus de 300 °C, entraîne la formation de chlorures métalliques ou d'oxychlorures et d'eau.

e) Avec les métaux: ce type de réaction a déjà été discuté.

f) Avec les oxydants: la réaction du chlorure d'hydrogène anhydre avec l'oxygène a été étudiée avec celle des métaux, mais d'autres oxydants réagissent à son contact comme, par exemple, MnO_2.

g) Avec les composés halogénés inorganiques: les composés d'addition sont formés à partir du bromure d'hydrogène (HBr), de l'iodure d'hydrogène (HI) et du cyanure d'hydrogène (HCN) à basses températures. Ces composés sont instables à la température ambiante.

h) Avec les oxyacides et leurs sels: la réaction avec le trioxyde de soufre entraîne la formation d'acide chlorosulfurique liquide ($ClSO_3H$). La réaction avec l'acide nitrique libère le chlore. Les sulfates anhydres des métaux lourds forment des composés d'addition qui ont en général deux moles de HCl comme, par exemple, $CuSO_4 \cdot 2\,HCl$. Le HCl est libéré à température élevée.

i) Avec les composés organiques: le chlorure d'hydrogène ajoute aux liaisons doubles et triples carbone-carbone dans différents composés organiques. De plus, le chlorure d'hydrogène remplace l'hydroxyle aliphatique par du chlorure en utilisant un catalyseur liquide ou solide.

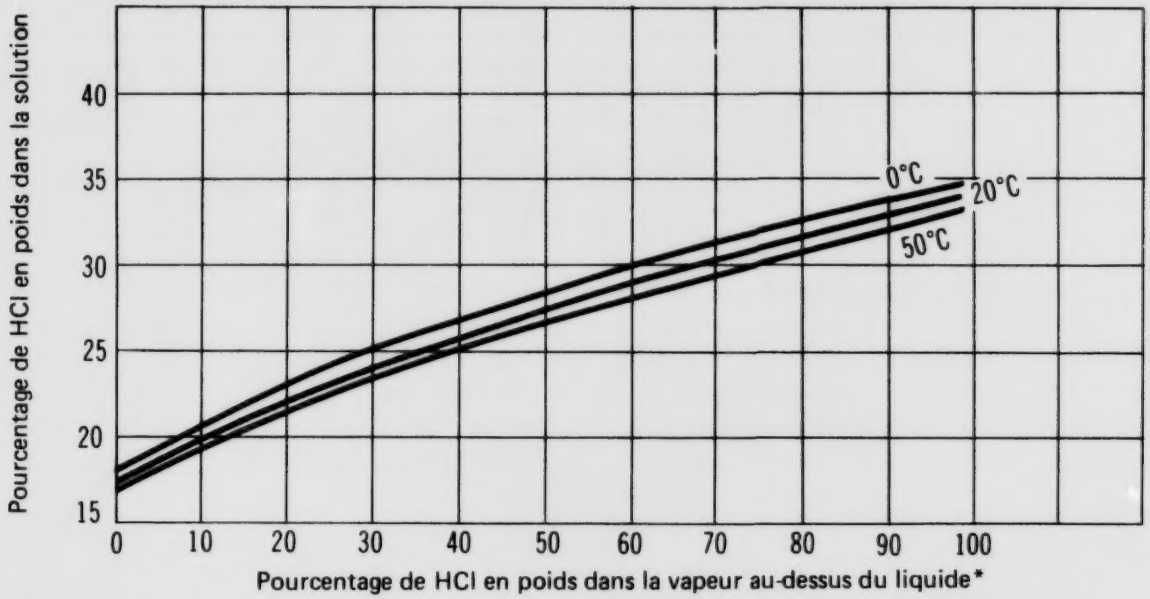
$$ROH + HCl \rightarrow RCl + H_2O$$

L'acide chlorhydrique réagit comme suit:

a) Avec les métaux: l'acide chlorhydrique réagit au contact de la plupart des métaux et alliages

Figure 5

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **POURCENTAGE DE HCl DANS LA VAPEUR**



* En supposant qu'un équilibre a été atteint et que le volume de la vapeur est du même ordre de grandeur que le volume du liquide.

Figure 6

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng., 1974

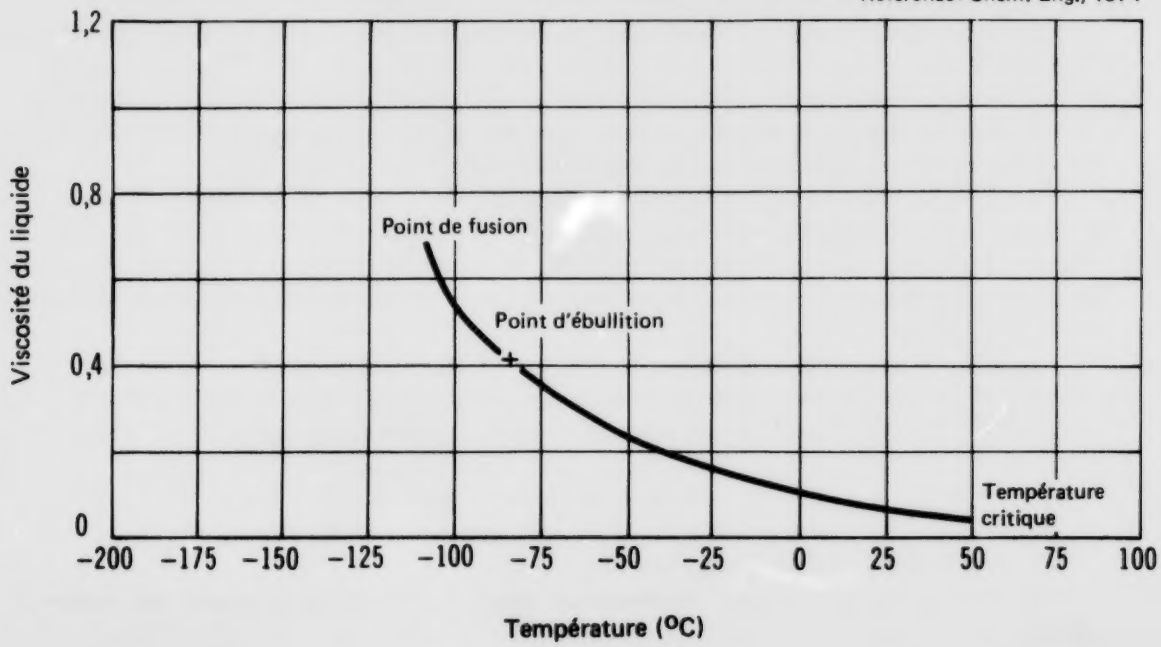


Figure 7

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **VISCOSITÉ DU GAZ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng., 1974

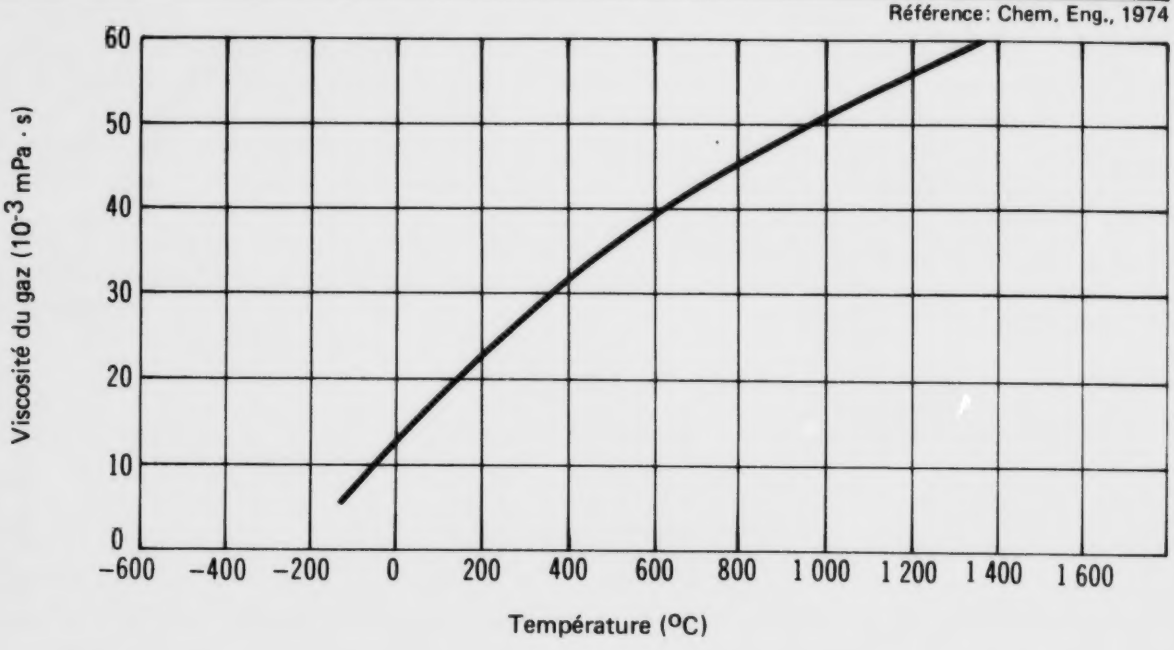
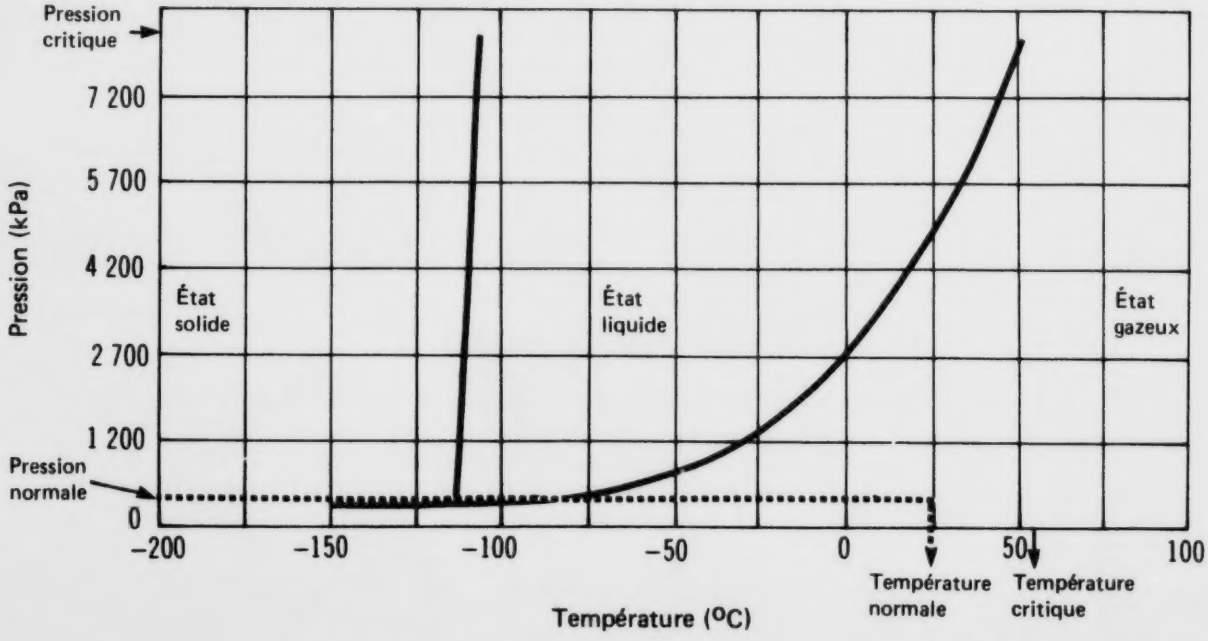


Figure 8

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **DIAGRAMME DE PHASE**



$$M + n\,H_3O^+ \rightarrow M^{n+} + n\,H_2O + n/2\,H_2\uparrow$$

où *M* représente un métal ou un alliage.

La vitesse de la réaction dépend de variables comme la température et le titre de l'acide, la présence d'oxydants, de réducteurs, de complexes ou d'inhibiteurs, la présence d'un film d'oxyde, le type de traitement antérieur subi par le métal, la nature des espèces qui réagissent dans les alliages et les composés et la forme physique du métal.

b) Avec les oxydes et les hydroxydes: la réaction de l'acide chlorhydrique au contact de solutions aqueuses de métaux alcalins et d'hydroxydes alcalino-terreux consiste simplement en une formation de sels ioniques.

c) Avec les oxydants: l'acide chlorhydrique aqueux peut être oxydé en chlore et en eau par divers oxydants comme le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), l'acide sélénique (H_2SeO_4) et le pentoxyde de vanadium (V_2O_5).

3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres des produits

3.1.1 À l'état anhydre. – Le chlorure d'hydrogène anhydre est vendu habituellement dans les qualités suivantes: la qualité «technique» dont le titre est supérieur à 99 p. 100 et la qualité «électronique» dont le titre est de 99,99 p. 100 au minimum (Air Products SGDS, 1980; PC, 1981).

3.1.2 En solution aqueuse. – L'acide chlorhydrique est vendu habituellement dans les qualités suivantes (Corpus, 1983; Dow MSDS, 1979a et 1979b; PPG, 1979; MCA, 1970):

Qualité	Densité	Titre
Commerciale	18 °Bé	27,9 p. 100
Technique ou commerciale	20 °Bé*	31,5 p. 100
Commerciale	22 °Bé	35,2 p. 100
Alimentaire	20 °Bé à 22 °Bé	31,5 p. 100 à 35 p. 100

* Qualité la plus vendue.

3.2 Fabricants situés au Canada
(Corpus, 1983; CCPA, 1981; Scott, 1979; CBG, 1980)

Le lecteur trouvera ci-dessous des adresses de sièges sociaux. Il faudrait noter qu'elles ne sont pas fournies dans le but qu'on s'en serve comme premier recours en cas de déversement accidentel.

Allied Chemical Canada Ltd., 201 City Centre Drive, Mississauga, Ontario, L5B 2T9, (416) 276-9211
Canadian Occidental Petroleum Ltd., Hooker Chemical Division, 700 Fourth Avenue S.W., Calgary, Alberta, T2P 0K2, (403) 265-2390
Canso Chemicals Ltd., P.O. Box 484, New Glasgow, Nova Scotia, B2H 5E5, (902) 755-1784
C-I-L Inc., 90 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, N2N 6H2, (416) 226-6110
Dow Chemical Canada Inc., P.O. Box 1012, Modeland Road, Sarnia, Ontario, N7T 7K7, (519) 339-3131
Du Pont Canada Inc., 555 ouest, boul. Dorchester, C.P. 6600, Montréal, Québec, H3C 2V1, (514) 397-2700
FMC Canada Ltd., 570-885 Dunsmuir Street, Vancouver, British Columbia, V6C 1N5, (604) 685-6508
Great Lakes Forest Products, Duke Street, Dryden, Ontario, P8N 2Z9, (807) 223-2323
Prince Albert Pulp Company Ltd., Saskatoon Chemicals Division, P.O. Box 1586, Saskatoon, Saskatchewan, S7K 3R3, (306) 652-9456
St. Anne Chemical Co., 8 Prince Arthur Avenue, Toronto, Ontario, M5R 1A9, (416) 968-2900
Uniroyal Ltd., 895 Don Mills Road, Don Mills, Ontario, M3C 1W3, (416) 446-5755

3.3 Autres fournisseurs (Corpus, 1983)

Bartek Chemical Co. Ltd., P.O. Box 609, Burlington, Ontario, L7R 3Y5, (416) 639-0807
Occidental Chemicals (Shipped directly to customer from Niagara Falls, New York)
Pennwalt of Canada Ltd., 700 Third Line, Oakville, Ontario, L6J 5A3, (416) 827-9841
Union Carbide Canada Ltd. (for Hydrogen Chloride) 123 Eglinton Avenue East, Toronto, Ontario, M4P 1J3, (416) 487-1311

3.4 Itinéraires utilisés pour le transport

La production canadienne du chlorure d'hydrogène et de l'acide chlorhydrique s'effectue dans sept provinces. Les usines les plus importantes se trouvent à Fort Saskatchewan (Alberta), à Sarnia (Ontario) et à Bécancour (Québec). Le transport du produit s'effectue sur tout le territoire canadien.

3.5 Volume de production (Corpus, 1983)

Société	Ville	Province	Capacité nominale en kilotonnes par an (1982)
Allied Chemicals Canada*	Amherstburg	Ontario	7
C-I-L	Bécancour	Québec	35
C-I-L*	Cornwall	Ontario	8
Canadian Occidental Petroleum*	North Vancouver	C.-B.	8
Canso Chemicals*	New Glascow	N.-É.	1
Dow Chemical Canada*	Ft. Saskatchewan	Alberta	45
Dow Chemical Canada	Sarnia	Ontario	75
Du Pont Canada	Maitland	Ontario	8
FMC Chemicals*	Squamish	C.-B.	12
Great Lakes Forest Products*	Dryden	Ontario	2
St. Anne Chemical*	Nackawic	N.-B.	3
Saskatoon Chemical*	Saskatoon	Sask.	8
Uniroyal Chemical	Edmonton	Alberta	2
TOTAL			214
Production nationale (1982)			135,4
Importations			5,4
TOTAL			140,8

* Marché captif.

3.6 Fabrication industrielle de l'acide chlorhydrique

3.6.1 Information générale. – Il existe plusieurs procédés de fabrication du chlorure d'hydrogène. Parmi ceux-ci, la pyrohydrolyse de sels comme les chlorures de calcium et de magnésium, l'hydrolyse de chlorures métalliques comme le tétrachlorure de titane ($TiCl_4$) et la dissociation thermique de divers hydrates de chlorures synthétiques comme le trichlorure d'aluminium hexahydraté ($AlCl_3 \cdot 6\ H_2O$). Les procédés les plus répandus dans l'industrie incluent (a) la préparation de l'acide chlorhydrique par l'action de l'acide sulfurique à 80 p. 100 sur le sel marin, (b) la synthèse à partir de l'hydrogène et du chlore et (c) la récupération de l'acide chlorhydrique lors de certaines réactions chimiques de composés organiques (Kirk-Othmer, 1980).

3.6.2 Procédés d'élaboration. – La fabrication de l'acide chlorhydrique à partir d'acide sulfurique et de sel s'effectue en deux étapes selon les équations suivantes:

$$NaCl + H_2SO_3 \rightarrow NaHSO_4 + HCl$$
$$NaHSO_3 + NaCL \rightarrow Na_2SO_4 + HCl$$

Ces deux réactions sont endothermiques, la première ayant lieu à 150 °C environ, et la deuxième, entre 550 °C et 600 °C. Divers types de fours, incluant les fours à cornue en fonte, le four mécanique Mannheim (four à moufle circulaire stationnaire fermé muni d'une cuve inférieure concave et d'un couvercle en forme de dôme) et le four Lawry, sont employés pour ce procédé. Le four Lawry utilise comme chambre de réaction un cylindre rotatif horizontal à deux compartiments. L'appareil le plus récent est le réacteur à lit fluidisé Cannon, dans lequel les vapeurs d'acide sulfurique sont injectées avec les gaz de combustion sur un lit fluidisé de sel. Le chlorure de potassium a également servi de combustible pour le four Mannheim.

Le procédé Hargreaves, qui est une variante du procédé Mannheim, emploie comme réactifs le sel, le dioxyde de soufre, l'air et l'eau. La réaction est exothermique et autosuffisante une fois que les réactifs ont été chauffés à la température de réaction qui se situe entre 430 °C et 540 °C. La réaction de base est:

$$4\,NaCl + 2\,SO_2 + O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,Na_2SO_4 + 4\,HCl$$

L'emploi de l'air, toutefois, produit un gaz contenant seulement 10 p. 100 à 12 p. 100 de chlorure d'hydrogène, alors que celui du procédé Mannheim en contient 30 p. 100 à 60 p. 100.

La synthèse directe à partir d'hydrogène et de chlore est exothermique. La température de la flamme à l'équilibre pour la réaction adiabatique de proportions stoichiométriques d'hydrogène et de chlore atteint 2490 °C. Le mélange à l'équilibre contient 4,2 p. 100 en volume de chlore libre (à l'état de Cl_2) à cette température. Lorsque les gaz sont refroidis, l'hydrogène et le chlore libre se combinent rapidement; à 200 °C, la teneur en chlore libre est négligeable. On peut obtenir un gaz contenant plus de 99 p. 100 de chlorure d'hydrogène par un contrôle approprié des gaz avec lesquels on alimente le four. Une installation type de combustion comprend une chambre de combustion verticale (habituellement en graphite) refroidie à l'eau, chauffée par une flamme propagée de bas en haut (ancien modèle) ou par une flamme propagée de haut en bas (nouveau modèle). Dans le cas de l'ancien modèle, le gaz est refroidi par un train d'absorption externe, alors que le nouveau modèle comporte un train d'absorption intégré. La réaction de base du procédé est la suivante:

$$Cl_2 + H_2 \xrightarrow[> 200\ ^\circ C]{} 2\,HCl$$

Le chlorure d'hydrogène brut à l'état gazeux, obtenu comme sous-produit d'une réaction de synthèse de substances organiques, peut être contaminé par le chlore et des substances organiques résiduaires, des substances organiques chlorées, des impuretés présentes dans les divers réactifs et les matières solides entraînées comme les particules de catalyseur. En général, le chlorure d'hydrogène obtenu de cette façon est utilisé par le fabricant et n'est pas vendu sur le marché. Il existe plusieurs procédés de purification; l'adoption d'une méthode en particulier dépend du produit final que l'on désire obtenir.

3.6.2.1 Élimination de l'eau. – Il est possible d'éliminer de petites quantités d'eau du chlorure d'hydrogène avec de l'acide sulfurique et d'obtenir une teneur résiduaire en eau de moins de 0,02 p. 100. L'enlèvement de grandes quantités d'eau s'effectue avant le traitement à l'acide sulfurique par le refroidissement du mélange gazeux et par la condensation de l'acide chlorhydrique concentré qui s'ensuit. On peut diminuer la teneur en eau résiduaire à moins de 10 ppm en ajoutant de l'acide chlorosulfurique ($ClSO_3H$) à l'acide sulfurique. Le mélange d'acide

sulfurique élimine également les matériaux non saturés comme l'éthylène et le chlorure de vinyle; l'acide sulfurique à lui seul enlève les composés organiques comme l'acide monochloroacétique (ClH_2CCO_2H).

3.6.2.2 Élimination du chlore. – On peut éliminer le chlore par adsorption sur charbon actif ou par réaction avec des oléfines comme l'éthylène sur charbon actif à une température entre 30 °C et 200 °C. La réaction du gaz contaminé avec les oléfines à point élevé d'ébullition peut réduire la teneur en chlore à moins de 0,01 p. 100

3.6.2.3 Élimination des matières organiques. – La meilleure façon d'éliminer les matières organiques consiste à employer des adsorbants sélectifs. La mousse de polystyrène s'est avérée très efficace pour enlever les composés aromatiques, les zéolites synthétiques, excellents pour enlever le toluène et les chlorosilanes, le charbon actif et le charbon, efficaces pour éliminer les chloroacétylènes. Les composés à point d'ébullition peu élevé peuvent être éliminés par un lavage avec un liquide organique à point d'ébullition élevé.

Il existe maintes autres méthodes de purification du chlorure d'hydrogène. Pour plus d'information, consulter la *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, publiée en 1980 par John Wiley and Sons (New York).

3.7 Principales utilisations au Canada (Corpus, 1983; Air Products SGDS, 1980)

Le chlorure d'hydrogène (anhydre) est employé dans l'industrie de l'électronique, l'industrie pétrolière, les usines de décapage de l'acier et d'autres industries métallurgiques.

L'acide chlorhydrique est utilisé dans l'industrie des pâtes et papiers, celle du traitement de la saumure, l'industrie pharmaceutique, l'industrie minière et les industries métallurgiques. On l'emploie également dans l'industrie chimique pour fabriquer du chlorure ferrique, du chlorure d'éthyle et du trichloro-1, 1, 1 éthane. En 1982, 42 p. 100 du marché domestique de l'acide chlorhydrique étaient réservés à l'industrie de la saumure, 12 p. 100 à la fabrication du chlorure d'éthyle, 9 p. 100 au décapage de l'acier et 9 p. 100 à la préparation du chlorure ferrique.

3.8 Principaux acheteurs au Canada

3.8.1 Acide chlorhydrique (Corpus, 1983; CBG, 1980)

A & B Chemical Products, Stouffville, Ont.
A & K Petro-Chem Industries, Weston, Ont.
Alcolac Ltd., Valleyfield, Qc
Algoma Steel, Sault-Sainte-Marie, Ont.
Anachemia, Montréal, Qc
Arliss Chemical, Montréal, Qc
Baldwin & Kroll, Edmonton, Alb.
Bartek Chemical, Burlington, Ont.
Bate Chemical, Toronto, Ont.
Benson Chemical, Freelton, Ont.
Beta Well Service, Edmonton, Alb.
Billiton Canada, St. George, N.-B.
Borg-Warner, Calgary, Alb.
Canada Colours & Chemicals, Toronto, Ont.
Canadian Tungsten, Vancouver, C.-B.
Capo Polishes, Burlington, Ont.
Diversey Environment, Mississauga, Ont.
Dofasco, Hamilton, Ont.
Dowell of Canada, Calgary, Alb.
Dustbane Enterprises, Ottawa, Ont.
Endako Mines, Endako, C.-B.
Ethyl Canada, Sarnia, Ont.
Haliburton Services, Calgary, Alb.
Hanson Inc., Toronto, Ont.
Industrial Grain Products, Candiac, Qc
International Chemical, Brampton, Ont.

Kert Chemical, Toronto, Ont.
Nacan Products, Collingwood, Ont.
Nowsco Well Service, Calgary, Alb.
Pennwalt of Canada, Oakville, Ont.
Robinson & Webber, Winnipeg, Man.
St. Lawrence Starch, Mississauga, Ont.
Schlumberger of Canada, Calgary, Alb.
Shefford Chemicals, Granby, Qc
Stanchem, Montréal, Qc
Steel Co. of Canada, Hamilton, Ont.
Uba Chemical, Mississauga, Ont.
Winfield Chemical Ind., Woodstock, Ont.

3.8.2 **Chlorure d'hydrogène anhydre** (CBG, 1980)

Air Products, Brampton, Ont.
Canadian Liquide Air Co. Ltd., Toronto, Ont.
Matheson of Canada Ltd., Brampton Ont.
Union Carbide Canada Ltd., Toronto, Ont.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Conteneurs et autres récipients de transport

4.1.1 Transport en vrac. – Le transport en vrac de l'acide chlorhydrique en solution aqueuse se fait par wagon-citerne, camion-citerne et conteneur-citerne spécialement conçus à cette fin. Le chlorure d'hydrogène anhydre est parfois expédié à l'état liquide sous pression dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – On emploie d'ordinaire pour le transport de l'acide chlorhydrique les wagons-citernes 103BW et 111A100W5 (CCT/DOT) dont les spécifications sont données au tableau 2 (RTDCR, 1974).

Tableau 2
Spécifications des wagons-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique

Numéro de spécification du DOT et de la CCT*	Description
103BW	Citerne en acier soudé par fusion, avec dôme, isolée ou non isolée, garnie d'un revêtement intérieur en caoutchouc. Marge de remplissage minimale de 1 p. 100. Organes de déchargement par le haut exigés. Organes de déchargement par le bas et orifices de purge par le bas interdits. Pression d'essai de 414 kPa (60 lb/po^2). Évent de sûreté réglé à 414 kPa (60 lb/po^2) avec disque de rupture comportant un orifice de ventilation de 3 mm (1/8 po).
111A100W5	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme, isolée ou non isolée, garnie d'un revêtement intérieur en caoutchouc. Marge de remplissage minimale de 2 p. 100. Indicateur de niveau. Organes de déchargement par le haut exigés. Organes de déchargement par le bas et orifice de purge par le bas interdits. Pression d'essai de 690 kPa (100 lb/po^2). Évent de sûreté réglé à 690 kPa (100 lb/po^2) avec disque de rupture comportant un orifice de ventilation de 3 mm (1/8 po).

* Commission canadienne des transports; Department of Transportation (États-Unis)

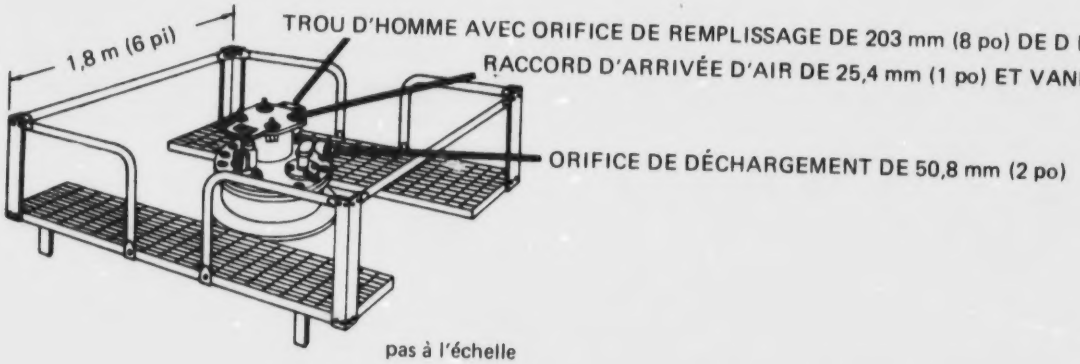
Le plus souvent, on emploie le wagon-citerne CCT/DOT 111A100W5 illustré à la figure 9 et dont les caractéristiques sont fournies au tableau 3. On ne décharge jamais par le bas les wagons-citernes contenant de l'acide chlorhydrique. Les orifices de déchargement par le bas sont interdits pour ce type de wagon. Les wagons-citernes sont vidés par le haut avec une pompe ou au moyen d'air comprimé (MCA, 1970). L'acide est retiré par un tube plongeur de remplissage et de vidange, qui s'étend de la paroi inférieure à la plate-forme supérieure du wagon-citerne, où il se termine par un raccord de déchargement de 51 mm (2 po). On fait passer de l'air comprimé à une pression de 207 kPa (30 lb/po^2) par un raccord d'admission d'air de 25 mm (1 po). Le wagon-citerne doit également être doté d'un évent de sûreté réglé à 690 kPa (100 lb/po^2). Un indicateur de niveau, à tige ou à ruban, est optionnel.

Figure 9

ACIDE CHLORHYDRIQUE

WAGON-CITERNE – CLASSE 111A100W5

(Références: CLC, 1980; RTDCR, 1974)



pas à l'échelle

DÉTAIL DE LA PLATE-FORME SUPÉRIEURE

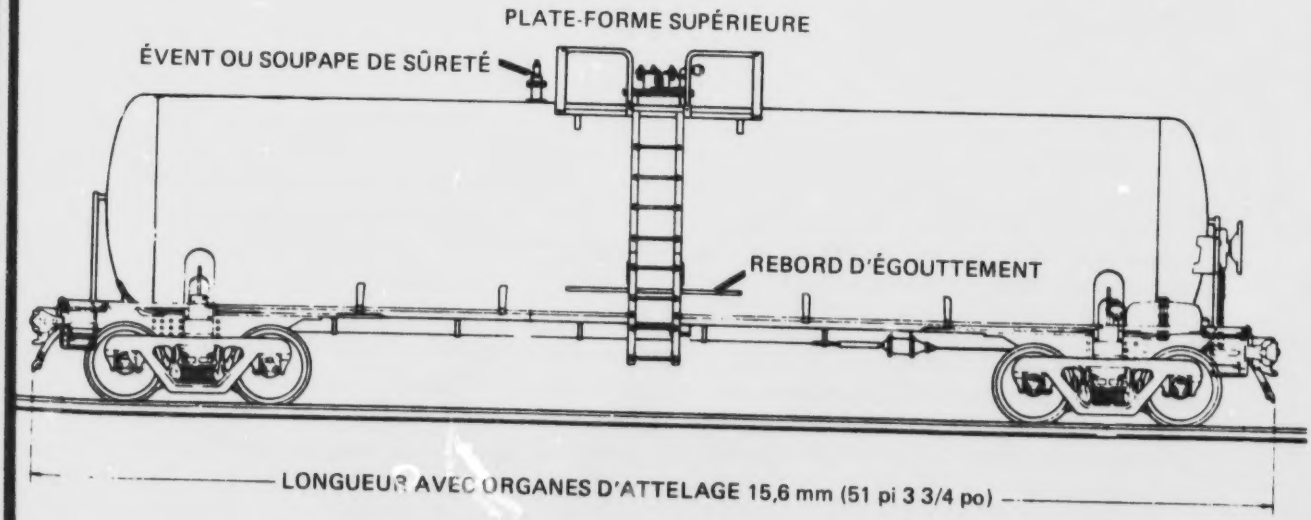


ILLUSTRATION DU WAGON-CITERNE

pas à l'échelle

Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de classe 111A100W5
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description		Dimensions	Remarques
Structure	Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	
	Tare	25 200 kg (55 600 lb)	
	Masse brute maximale	119 300 kg (263 000 lb)	
Citerne	Matériau	Acier	Garniture intérieure
	Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	en caoutchouc
	Diamètre intérieur	2,74 m (108 po)	de 4,8 mm (3/16 po)
	Pression d'essai	690 kPa (100 lb/po^2)	
	Pression d'éclatement	3450 kPa (500 lb/po^2)	
Dimensions	Longueur avec organes d'attelage	15,6 m (51 pi 3 3/4 po)	
	Longueur avec pylônes de choc	14,8 m (48 pi 8 1/4 po)	
	Distance entre les pivots de bogie	11,5 m (37 pi 8 3/4 po)	
	Hauteur au sommet du caillebotis	3,48 m (12 pi 5 3/8 po)	
	Hauteur hors-tout	4,56 m (14 pi 11 3/8 po)	
	Largeur hors-tout (avec poignées)	3,21 m (10 pi 6 1/2 po)	
	Hauteur de l'axe d'attelage au-dessus du rail	0,88 m (2 pi 10 1/2 po)	
	Longueur du caillebotis	2,44 m (8 pi 1/8 po)	
	Largeur du caillebotis	1,83 m (6 pi)	
Dispositifs de chargement et de déchargement	Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	
	Orifice de remplissage	203 mm (8 po)	
	Raccord d'arrivée d'air	25 mm (1 po)	
	Orifice de déchargement par le bas	Interdit	
	Orifice de purge par le bas	Interdit	
Dispositifs de sécurité	Évent de sécurité		Exigé. Doit comporter un disque de rupture avec un trou d'évent de 3 mm (1/8 po)

On ne transporte jamais l'acide chlorhydrique sous pression. Les wagons-citernes doivent être garnis d'un revêtement intérieur en caoutchouc ou en un autre matériau aussi résistant à l'acide. Des soupapes de sûreté approuvées, dotées de disques de rupture, doivent être employées.

Les wagons-citernes utilisés pour le transport du chlorure d'hydrogène anhydre ne sont pas réglementés par la CCT et le DOT; toutefois, il est possible d'expédier le chlorure d'hydrogène anhydre par wagon-citerne spécialement choisi à cette fin (MCA, 1970). Le chlorure d'hydrogène est expédié à l'état de gaz liquéfié dans des wagons isolés, habituellement de spécification CCT/DOT 105A600W. Ce type de wagon a une citerne en acier soudé avec un dispositif de remplissage par le haut. Un orifice de déchargement ou de purge par le bas est interdit. Une soupape de sûreté réglée à 3100 kPa (450 lb/po^2) doit être employée (TCM, 1979). La citerne peut être fabriquée en acier inoxydable ou en acier au carbone, à la condition que le type d'acier

puisse bien supporter de basses températures. L'organe de déchargement par le haut des wagons-citernes employés pour transporter le chlorure d'hydrogène ressemble beaucoup à celui des wagons-citernes qui servent au transport du chlore.

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. – L'acide chlorhydrique est expédié par véhicules-citernes routiers de différentes capacités (MCA, 1970).

Comme dans le cas des wagons-citernes, les camions-citernes doivent être déchargés par le haut au moyen d'un tube plongeur de remplissage et de vidange qui descend à l'arrière du réservoir. Le déchargement du camion-citerne s'effectue au moyen d'air comprimé. On fait passer l'air comprimé à une pression n'excédant pas 207 kPa (30 lb/po^2) par un raccord d'admission d'air de 25 mm (1 po), à filet extérieur, situé sur le dessus de la citerne.

Les véhicules-citernes routiers doivent être conformes à la spécification TC312 de Transports Canada décrite au tableau 4. Les solutions d'acide chlorhydrique ne sont pas transportées sous pression. Les camions-citernes doivent faire l'objet d'un essai avec une pression minimale de 311 kPa (45 lb/po^2) afin de s'assurer qu'ils peuvent tolérer la pression de 207 kPa (30 lb/po^2) de l'air comprimé utilisé pour le déchargement par le haut. La pression de service maximale de la citerne est en fait de 207 kPa (30 lb/po^2).

Le chlorure d'hydrogène anhydre est transporté dans des véhicules-citernes routiers qui ont les mêmes caractéristiques que les wagons-citernes employés pour son transport. En l'absence d'un règlement du DOT, les véhicules-citernes routiers servant au transport du chlorure d'hydrogène doivent être conformes à la spécification TC331 de Transports Canada, qui prévoit une citerne en acier soudé, isolée, avec une pression maximale prévue de 3450 kPa (500 lb/po^2), conçue et fabriquée suivant le Code de l'ASME (HCG, 1981). Les citernes sont remplies de chlorure d'hydrogène liquide à -56,6 °C et 345 kPa (50 lb/po^2). Le déchargement des citernes doit être effectué dans les trois jours qui suivent, à moins que ne soient employées des méthodes spéciales pour conserver la pression interne des citernes entre 345 kPa (50 lb/po^2) et 552 kPa (80 lb/po^2) (HCG, 1981).

4.1.1.3 Conteneurs-citernes. – Les conteneurs-citernes servent au transport de petites quantités de solutions d'acide chlorhydrique. La capacité et le poids des réservoirs varient en fonction des besoins.

Tableau 4
Spécifications des véhicules-citernes routiers employés pour le transport de l'acide chlorhydrique

Numéro de spécification de Transports Canada	Description
TC312 (MC312)	Citerne en acier soudé bout à bout, de conception et construction conformes au code ASME si le déchargement se fait au moyen d'air comprimé dont la pression excède 103 kPa (15 lb/po^2). Indicateur de niveau optionnel. Orifice de déchargement par le haut et(ou) par le bas. Au moins un dispositif régulateur de pression par compartiment comme l'exige le Code de l'ASME. Au moins un trou d'homme de 380 mm (15 po) par compartiment. Orifice de purge par le bas optionnel.

L'équipement et les méthodes employés pour décharger les conteneurs-citernes sont similaires à ceux utilisés pour le déchargement des wagons-citernes et des camions-citernes.

Les conteneurs-citernes doivent être conformes à la spécification TC60 de Transports Canada décrite au tableau 5 (TDGC, 1980). Le chlorure d'hydrogène anhydre n'est jamais expédié en conteneur-citerne.

Tableau 5
Spécifications des conteneurs-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique

Numéro de spécification de Transports Canada	Description
TC60	Citerne en acier soudé par fusion ou en acier sans soudure. Conception et construction conformes au Code de l'ASME. La citerne et ses fixations permanentes doivent être soudés ensemble. Marge de remplissage minimale de 1 p. 100. Organes de déchargement par le bas interdits sauf dans le cas d'acides ou de liquides corrosifs. Orifice de purge par le bas optionnel. Au moins un dispositif régulateur de pression. Pression d'essai minimale de 414 kPa (60 lb/po^2).

4.1.2 Transport en fûts. – En plus du transport en vrac, l'acide chlorhydrique est également expédié dans des fûts dont la description est donnée au tableau 6 (TDGC, 1980). Les fûts en acier peuvent être garnis d'un revêtement intérieur en caoutchouc pour prévenir la corrosion. On emploie également des bombonnes en verre dans des boîtes ou dans des récipients en polyéthylène expansé.

Le chlorure d'hydrogène anhydre peut être transporté dans des bouteilles à gaz équipées de dispositifs de sûreté et conformes aux règlements de la CCT et du DOT (MCA, 1970). Les spécifications de la CCT sont données au tableau 7.

Tableau 6
Fûts utilisés pour le transport de l'acide chlorhydrique

Type de fût	Numéro de spécification	Description	Illustré à la figure
Acier garni du revêtement intérieur de caoutchouc	1A1	Dessus non amovible, réutilisable	10
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	10
	1A1B	1A1 avec brides de fermeture soudées	10
	1A1C	1A1 plombé	10
	1A1D	1A1 avec revêtement (autre que le plomb)	10
	1A3	Dessus non amovible, non réutilisable	10
Plastique	1H1	Dessus non amovible, de capacité maximale de 250 l (55 gal) et de masse nette maximale de 400 kg (880 lb)	
Fût en acier avec récipient intérieur en plastique	6HA1	Fût extérieur en tôle d'acier avec récipient intérieur en plastique, de capacité maximale de 225 l (55 gal)	

Figure 10

FÛT TYPIQUE

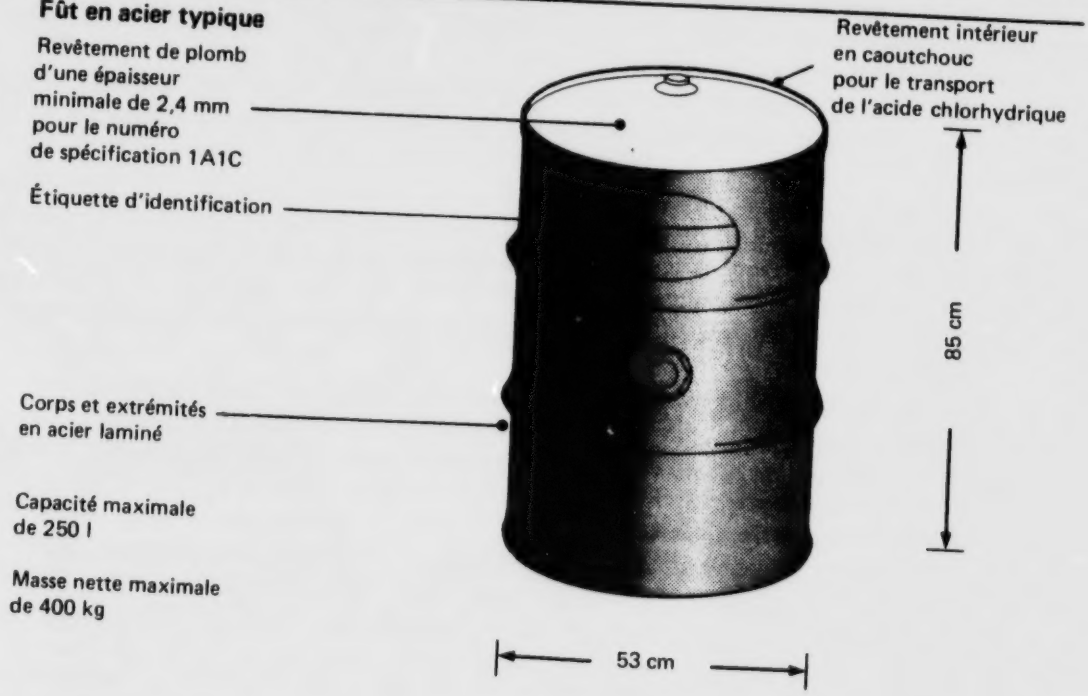


Tableau 7

Spécifications des bouteilles à gaz utilisées pour le transport du chlorure d'hydrogène anhydre

Numéro de spécification CCT/DOT*	Description
3A1800	Bouteilles à gaz en acier, sans soudure, avec une pression de service maximale de 12 400 kPa (1800 lb/po^2)
3AA1800	Bouteilles à gaz en acier, sans soudure, avec une pression de service maximale de 12 400 kPa (1800 lb/po^2). Les aciers employés doivent être conformes aux normes. Teneur maximale en carbone de 0,28 p. 100.
3E1800	Bouteille à gaz en acier, sans soudure, avec une pression de service maximale de 12 400 kPa (1800 lb/po^2), un diamètre maximal de 51 mm (2 po) et une longueur maximale de 610 mm (24 po)
3AX1800	Bouteille à gaz similaire à 3A1800, de capacité minimale de 450 kg (990 lb) (masse en eau)

* Commission canadienne des transports; Department of Transportation (États-Unis)

4.2 Déchargement

4.2.1 Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes employés pour le transport de l'acide chlorhydrique. – Avant de procéder au déchargement de l'acide chlorhydrique, il faut prendre les précautions suivantes:

- vérifier que le réservoir d'emmagasinage ventilé dans lequel est transvasé l'acide chlorhydrique a la capacité suffisante pour recevoir tout le contenu du wagon-citerne;
- si le déchargement se fait la nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être de type antidéflagrant;
- le personnel ne doit en aucun cas pénétrer dans le wagon;
- les freins doivent être serrés, et les roues, calées; il faut installer un appareil ou une aiguille de déraillement et placer des écriteaux avertisseurs;
- il doit y avoir un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité au poste de déchargement;
- le système d'alimentation en air doit être équipé d'un régulateur de pression pour contrôler la pression maximale appliquée à la citerne (CCPA, 1982);
- un système de lavage à l'eau devrait être fourni pour éliminer l'acide présent dans l'air, permettant de dépressuriser la citerne avant de la refermer (CCPA, 1982).

Pour effectuer le déchargement du wagon-citerne, suivre les étapes suivantes (MCA, 1970);

- avant que le couvercle du trou d'homme ne soit ouvert et la conduite de déchargement connectée à l'orifice de déchargement, s'assurer que le wagon-citerne est dépressurisé en desserrant lentement les boulons de la bride de l'évent de sûreté ou en refroidissant l'extérieur du wagon avec de l'eau;
- raccorder la conduite de déchargement de 51 mm (2 po) à l'orifice de déchargement et la conduite d'admission d'air comprimé de 25 mm (1 po) à l'orifice d'admission d'air. La pression d'air doit être abaissée à 207 kPa (30 lb/po^2) pour l'opération de déchargement; la conduite d'air comprimé doit être munie d'une soupape de sûreté réglée à 242 kPa (35 lb/po^2);
- une fois ouvert le robinet de la conduite d'apport d'air comprimé, ouvrir le robinet de la conduite de déchargement afin de vider le wagon-citerne de son contenu;
- lorsque le wagon-citerne est déchargé, fermer le robinet de la conduite d'air comprimé et ouvrir la valve de l'évent de la conduite pour permettre à la pression intérieure de la conduite de redescendre au niveau de la pression atmosphérique lorsqu'on la lave;
- pour fermer le wagon-citerne, suivre dans l'ordre inverse les étapes qui précèdent;
- lorsque le déchargement s'effectue au moyen d'une pompe, l'évent doit demeurer ouvert;
- les wagons-citernes doivent être dépressurisés avant de retourner sur la voie ferrée.

Le déchargement des camions-citernes de leur contenu d'acide chlorhydrique s'effectue de façon similaire à celui des wagons-citernes.

4.2.2 Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes employés pour le transport du chlorure d'hydrogène. – Avant de procéder au déchargement du chlorure d'hydrogène, il faut prendre des précautions similaires à celles prises avant le déchargement de l'acide chlorhydrique.

Le déchargement d'un wagon-citerne de son contenu peut s'effectuer à l'aide de vapeur sous pression ou d'un coussin d'air (MCA, 1970). Lorsqu'on se sert de vapeur sous pression, on décharge le chlorure d'hydrogène à l'état liquide par l'un des deux robinets d'équerre prévus pour les liquides. Si l'on désire décharger le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux, le liquide

devrait être vaporisé; on ne doit pas se servir des robinets d'équerre pour décharger le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux. La méthode de déchargement à l'aide d'un coussin d'air emploie de l'air sec pour augmenter la pression dans le wagon-citerne (MCA, 1970).

Le déchargement des camions-citernes de leur contenu de chlorure d'hydrogène s'effectue de façon similaire à celui des wagons-citernes.

4.2.3 Déchargement des bouteilles à gaz. – Les règles suivantes devraient être observées pour la manipulation et l'emmagasinage du chlorure d'hydrogène anhydre dans des bouteilles à gaz:

- les soupapes d'échappement des bouteilles devront être munies de capuchons;
- ne jamais placer les bouteilles à gaz à proximité de systèmes d'aération;
- entreposer les bouteilles de façon à minimiser leur corrosion extérieure;
- conserver les bouteilles debout;
- ranger les bouteilles à gaz comprimé pleines et les bouteilles à gaz comprimé vides séparément.

L'emploi de robinets de régulation et de raccords spéciaux est recommandé pour vider les bouteilles à gaz comprimé (MCA, 1970). Une soupape casse-vide est nécessaire pour empêcher que du liquide ne soit aspiré en retour dans le cylindre quand le chlorure d'hydrogène est évacué dans d'autres liquides.

4.2.4 Matériaux de fabrication et spécifications des organes de déchargement. – Les matériaux de fabrication des divers composants des organes de déchargement ainsi que leurs spécifications sont ceux qui sont généralement utilisés pour le transport du chlorure d'hydrogène. D'autres types de matériaux peuvent être employés dans certains cas et sont mentionnés à la section 4.3.

Les matériaux de fabrication de l'équipement employé avec le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux, et de l'équipement utilisé avec l'acide chlorhydrique diffèrent considérablement et sont traités séparément dans les sections 4.2.4.1 et 4.2.4.2. Lorsque la compatibilité d'un matériau utilisé pour la fabrication d'une pièce d'équipement précise est bien connue, elle fera l'objet d'une discussion; dans les autres cas, l'étude de la compatibilité des matériaux restera générale (Kirk-Othmer, 1980).

4.2.4.1 Le chlorure d'hydrogène à l'état gazeux. – En général, le gaz de chlorure d'hydrogène pur ne réagit pas au contact des matériaux de fabrication métalliques et non métalliques, à la température ambiante. Sauf aux températures élevées, la réaction avec la plupart des métaux est lente. Par exemple, la corrosion de l'acier doux est de 0,25 cm par année à 300 °C, et on n'a trouvé aucun point d'inflammation à 760 °C. La dissociation du gaz de chlorure d'hydrogène à ces températures est environ de 0,001 p. 100 et de 0,2 p. 100 respectivement. L'acier au carbone peut être employé dans la fabrication de récipients et de conduites pour le gaz sec de chlorure d'hydrogène jusqu'à une température de 250 °C et dans la fabrication de la tuyauterie et d'organes internes, jusqu'à 200 °C (CE, 1980a).

La vapeur d'eau n'influe pas sur la vitesse de corrosion des métaux aussi longtemps qu'il ne se forme pas à la surface de ces derniers une pellicule d'humidité. Cette situation peut être maintenue si la température est conservée au moins 20 °C au-dessus du point de rosée du mélange gazeux. À la pression atmosphérique, une température de 130 °C et plus peut être employée pour tous les mélanges de gaz de chlorure d'hydrogène et de vapeur d'eau, puisque le point d'ébullition azéotropique est de 108,6 °C. Le point d'ébullition azéotropique à d'autres pressions est donné dans le tableau qui suit:

Pression		Point d'ébullition	Densité	HCl (pourcentage
(kPa)	(lb/po^2)	(°C)	à 25 °C	par poids)
6,7	0,1	48,724	1,1118	23,42
33	5,0	81,205	1,1042	21,883
66	9,6	97,578	1,0993	20,916
93	13,5	106,424	1,0966	20,360
106	15,4	110,007	1,0955	20,155
133	19,3	116,185	1,0933	19,734

Toutefois, les oxydants (incluant l'oxygène et le chlore) contenus dans le chlorure d'hydrogène gazeux peuvent modifier la vitesse de corrosion. Il faudrait également se souvenir que les composés ferreux catalysent l'oxydation du chlorure d'hydrogène en chlore. Quand de tels agents sont présents en quantité importante, la température de service de l'équipement en acier devrait être maintenue sous 316 °C, degré auquel le chlorure ferrique ($FeCl_3$) est vaporisé de la surface métallique. De plus, l'équipement en acier devrait être décapé pour enlever les scories de laminoir avant d'être employé, parce que le chlorure d'hydrogène gazeux réagit au contact des oxydes métalliques et forme des chlorures, des oxychlorures et de l'eau.

Les alliages d'acier inoxydable (par exemple, Cr = 18 p. 100, Ni = 8 p. 100) ont une excellente résistance à la corrosion par le chlorure d'hydrogène gazeux, humide ou sec, à des températures aussi élevées que 400 °C; toutefois, on n'en recommande habituellement pas l'emploi parce qu'ils sont sujets à une fissuration par corrosion du chlore sous tension au moment où on ne les utilise pas. Ceci se produit surtout pour les aciers alliés 304 et 316 (CE, 1980a). Le taux de corrosion du Monel ressemble à celui de l'acier doux, alors que le nickel pur (99,6 p. 100 de Ni) et les alliages à teneur élevée en nickel comme l'Inconel 600 peuvent être employés jusqu'à 525 °C. Le nickel a une bonne résistance au chlorure d'hydrogène gazeux anhydre ou aqueux; cependant, on ne peut l'utiliser que de façon très limitée avec l'acide chlorhydrique. Par exemple, le Monel 400 ne peut être employé à plus de 300 °C (CE, 1980).

On peut se servir de conduites et d'équipement en acier dans le cas du chlorure d'hydrogène anhydre à l'état gazeux et à l'état liquide avec une teneur en humidité inférieure à 150 ppm. On peut également utiliser dans ce cas des matériaux à base d'alliages de nickel, dont certains aciers inoxydables à teneur faible en nickel. On emploie des conduites en acier sans soudure «Schedule 40», d'un diamètre de 7,6 cm ou plus, pour acheminer le gaz sec jusqu'à une pression manométrique de 100 lb/po^2 entre -26 °C et 177 °C. On utilise habituellement des robinets-vannes et des robinets à tournant en alliage «20» (pression manométrique de 150 lb/po^2) ainsi que des robinets en Monel. Des conduites «Schedule 80» sans soudure (toutes grosseurs) équipées de robinets en alliages «20» (pression manométrique de 600 lb/po^2) sont employées pour le chlorure d'hydrogène anhydre à l'état liquide. Les réservoirs d'emmagasinage pour le liquide anhydre doivent être faits en acier capable de supporter les basses températures; l'acier au carbone convient pour l'emmagasinage à la plupart des températures. Si le chlorure d'hydrogène a une teneur en humidité supérieure à 150 ppm, il faudra employer des réservoirs garnis d'un revêtement intérieur en plastique ou en caoutchouc et de l'équipement fabriqué avec des alliages spéciaux qui conviennent pour l'acide chlorhydrique (NAS, 1976).

4.2.4.2 L'acide chlorhydrique. – L'acide chlorhydrique en solution aqueuse réagit avec la plupart des métaux suivant l'équation:

$$M + n\,H_3O^+ \rightarrow M^{n+} + n\,H_2O + n/2\,H_2$$

La vitesse de la réaction dépend du titre de l'acide, de la présence d'impuretés dans l'acide qui font fonction d'oxydants, de réducteurs ou de complexants, de la présence d'inhibiteurs de la corrosion, de la forme physique du métal et de son traitement antérieur (recuit, trempe, laminage, etc.), de la présence d'impuretés dans le métal, de la température, de la solubilité des chlorures, et des caractéristiques de la solution (agitation, gradients de température, etc.)

Les aciers au carbone et la fonte ne doivent jamais être utilisés pour l'acide chlorhydrique. L'ajout d'autres métaux au fer accroît sa résistance à l'acide, comme dans le cas de la fonte avec une teneur élevée en silicium qui peut résister aux acides de tout titre jusqu'à 93 °C; toutefois, ce type d'alliage ne convient pas aux solutions concentrées à l'état d'ébullition ou aux solutions contenant des sels oxydants comme le chlorure ferrique ou le chlorure cuprique. D'autres alliages avec du nickel, du chrome, du molybdène, du cuivre, du manganèse, du tungstène et de l'antimoine ont fait l'objet d'essais. En général, les aciers inoxydables n'ont pas eu un bon rendement; cependant, un acier inoxydable japonais (Ni = 16 p. 100 - 18 p. 100, Cr = 9 p. 100 - 11 p. 100, Mo = 6 p. 100 - 8 p. 100, Mn = 2 p. 100, Si = 1 p. 100, P = 0,04 p. 100) est supposé avoir une résistance excellente à l'acide chlorhydrique.

Le molybdène pur et le tungstène sont très résistants à l'acide chlorhydrique à la température atmosphérique et peuvent tolérer à 100 °C un acide dont le titre peut atteindre 10 p. 100. Ils ne peuvent toutefois pas résister à un acide de titre de 20 p. 100 au point d'ébullition. Le tantale et le zirconium résistent tous deux très bien aux acides dont le titre peut atteindre 40 p. 100 jusqu'à 100 °C. La vitesse de corrosion des deux matériaux est supposée être de moins de 50 μm par année. La présence de chlorure ferrique ou de chlorure cuprique diminue énormément la résistance du zirconium. Les alliages tantale-molybdène dont la teneur en tantale dépasse 50 p. 100 ont une grande résistance à la corrosion.

Les alliages à base de nickel ont une meilleure résistance à la corrosion que les alliages à base de fer. Cependant les alliages de nickel-molybdène contenant entre 60 p. 100 et 70 p. 100 de nickel et entre 25 p. 100 et 33 p. 100 de molybdène sont les seuls alliages recommandés avec l'acide chlorhydrique concentré chaud. Les alliages Chlorimet 2 (Ni = 63 p. 100, Mo = 32 p. 100, Fe = 3 p. 100) et Hastelloy® B (Ni = 60 p. 100, Mo = 28 p. 100, Fe = 6 p. 100) ont montré une excellente résistance à la corrosion avec les acides de tous titres en l'absence d'air et de chlorures ferriques.

D'autres métaux ou alliages très résistants à la corrosion par les solutions d'acide chlorhydrique sont le plomb et le nickel électrolytique (P = 2 p. 100 à 10 p. 100). On s'est servi du plomb comme revêtement intérieur et comme matériau pour des conduites entièrement soutenues, parce que son emploi avec de l'acide à 30 p. 100 n'aura comme résultat qu'une faible corrosion et qu'il peut supporter un acide à 20 p. 100 au point d'ébullition. Un des principaux problèmes de son emploi est le fait que le chlorure de plomb est modérément soluble dans l'acide chlorhydrique. L'addition d'antimoine à 6 p. 100 - 15 p. 100 augmente la résistance du plomb à la corrosion. L'air et le chlorure ferrique accélèrent la corrosion du plomb. D'autres propriétés du plomb qui limitent son emploi sont son coefficient d'expansion thermique élevé et sa faible résistance mécanique. Le Durichlor® (Si = 14,5 p. 100, Mo = 3 p. 100, Fe = 82 p. 100) a une excellente résistance à l'acide chlorhydrique chaud en l'absence de chlorure ferrique.

Le carbone et le graphite étanche sont les matériaux les plus importants pour la fabrication d'équipement pour le transport et l'emmagasinage de l'acide chlorhydrique. Le graphite est habituellement imprégné de 10 p. 100 à 15 p. 100 de résines phénoliques, époxy ou furanniques afin de l'imperméabiliser. Ces résines restreignent l'utilisation du matériau à des températures inférieures à 170 °C. On emploie habituellement ces matériaux dans la fabrication d'échangeurs de chaleur ou de pompes centrifuges. Le verre est souvent utilisé comme revêtement intérieur; il est parfois employé dans la fabrication d'équipement complètement en verre comme des conduites et des pompes. La résistance à la corrosion varie en fonction du type de verre. Les matériaux réfractaires (alumine, silice, zircon, alliages chrome-alumine) sont également employés pour les revêtements intérieurs. Les matériaux réfractaires monolithiques donnent des résultats satisfaisants lorsqu'on s'en sert pour certaines applications comme les récipients en grès.

En général, les plastiques et les élastomères les plus communs ont une excellente résistance à la corrosion par l'acide chlorhydrique aux températures qui leur conviennent. Les composés de caoutchouc naturel mou font de très bons revêtements intérieurs pour les réservoirs d'emmagasinage à des températures pouvant atteindre 60 °C. Les composés de caoutchouc semi-durs servent à garnir d'un revêtement intérieur les conduites et de l'équipement devant supporter des températures jusqu'à 70 °C. Le caoutchouc dur est employé pour garnir les conduites jusqu'à 50 °C et 446 kPa. Des contaminants organiques dans l'acide rendent nécessaire le remplacement du caoutchouc naturel par le néoprène, le nitrile, le butyle, le chlorobutyle, l'hypalon et les élastomères de caoutchouc d'éthylène propylène. Les plastiques comme le polypropylène, le polychlorure de vinyle, le Saran® et l'acrylonitrile-butadiène-styrène ont une résistance excellente. Les plastiques fluorocarbonés résistent bien à la corrosion et peuvent supporter des températures élevées. Les températures-limites de certains d'entre eux sont données dans le tableau qui suit (Dow, 1979):

Matériau	Gamme de températures recommandée
Polytétrafluoroéthylène	- 29 °C à 260 °C
Kynar (polyfluorure de vinylidène)	- 18 °C à 135 °C
Polypropylène	- 18 °C à 107 °C
Saran®	- 18 °C à 80 °C

4.3 Compatibilité de chlorure d'hydrogène, de l'acide chlorhydrique et des matériaux de fabrication

La compatibilité du chlorure d'hydrogène de l'acide chlorhydrique et des matériaux de fabrication de l'équipement de service est indiquée au tableau 8. Le système d'évaluation utilisé dans le tableau 8 est décrit brièvement ci-après.

Recommandé: Le matériau aura un rendement satisfaisant avec l'application indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration avec l'application indiquée; il peut convenir pour un usage intermittent ou pour un service de courte durée.

Déconseillé: L'application indiquée causera une grave détérioration du matériau, son usage est donc déconseillé.

Tableau 8

Compatibilité du chlorure d'hydrogène, de l'acide chlorhydrique et de certains matériaux de fabrication

Application	État du produit chimique		Matériau recommandé	Matériau à employer avec réserves	Matériau déconseillé
	Teneur	Temp. (°C)			
1. Conduites et raccords*	25 p. 100-40 p. 100	23	Chlorure de polyvinyle II (DPPED, 1967)		
		60		Chlorure de polyvinyle II (DPPED, 1967)	
	< 35 p. 100	Jusqu'à la limite de tolérance du matériau	Chlorure de polyvinyle I**, acrylonitrile-butadiène-styrène**, polyéthylène** (MWPP, 1978)		
	35 p. 100	79	Chlorure de polyvinylidène (Saran®) (DCRG, 1978)		
		121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		135	Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
		200	Polytétrafluoroéthylène (Dow, 1979)		
		204	Téflon®, éthylène-propylène fluoré (CE, 1981)		
	≃ 36 p. 100	50	Caoutchouc naturel dur (Kirk-Othmer, 1980)		
		70	Caoutchouc naturel semi-dur (Kirk-Othmer, 1980)		
	38 p. 100	52	Polypropylène (CE, 1980b)		
2. Robinetterie	Toutes teneurs	21			Acier inoxydable 316, alliage «20» (JSSV, 1979)
	Jusqu'à 37 p. 100	90	Cer-Vit C 126 (Schott)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre	Entre -26 et 177	Alliage «20» (NAS, 1976)		
	100 p. 100 à l'état liquide, anhydre		Alliage «20» (NAS, 1976)		
3. Pompes	Qualité commerciale	93	Fonte à haute teneur en silicium (HIS, 1969)		

Application	État du produit chimique		Matériau recommandé	Matériau à employer avec réserves	Matériau déconseillé
	Teneur	Temp. (°C)			
4. Emmagasinage	100 p. 100 à l'état liquide, anhydre		Acier au carbone (qui supporte bien les basses températures), acier «Schedule 80» (NAS, 1976)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre	Entre -26 et 177	Acier «Schedule 40» (NAS, 1976)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre	65,5	Matériau renforcé de fibre de verre (Smith, 1982)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre ou aqueux	entre > 130 et ⩽ 250	Acier aux carbone (CE, 1980a; Kirk-Othmer, 1980)	Aciers inoxydables 304 et 316 (CE, 1980a)	
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre ou aqueux	entre > 130 et ⩽ 300	Monel® 400 (CE, 1980a)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre ou aqueux	entre > 130 et ⩽ 400	Acier inoxydable (Cr = 18 p. 100, Ni = 8 p. 100) (CE, 1980a)		
	100 p. 100 à l'état gazeux, anhydre ou aqueux	entre > 130 et ⩽ 500	Nickel, Inconel® 600 (CE, 1980a; Kirk-Othmer, 1980)		
5. Autres	2,5 p. 100	23	Nylon (C-I-L, 1982)		
	Jusqu'à 5 p. 100	70		Monel 400 (CE, 1980a)	
	5 p. 100	25	Titane (AMC)		
	Jusqu'à 10 p. 100	Température ambiante	Nickel, Monel® 400 (CE, 1980a)		
	10 p. 100	25			Nylon (C-I-L, 1982)
		35		Titane (AMC)	
		65	Esters vinyliques renforcés de fibre de verre: Green thread, Chemline (Smith, 1982)		
		93	Ester vinylique renforcé de fibre de verre: Polythread (Smith, 1982)		
		102	KBI-40 (tantale = 60 p. 100, niobium = 40 p. 100) (CE, 1983)		

Application	État du produit chimique		Matériau recommandé	Matériau à employer avec réserves	Matériau déconseillé
	Teneur	Temp. (°C)			
		Toutes températures			Aciers inoxydables 302, 304, 316, 410 et 430 (ASS)
	Jusqu'à 20 p. 100	Température ambiante		Nickel, Monel® 400 (CE, 1980a)	
		108	Hastelloy® B-2, zirconium, tantale (CE, 1980a)		
	20 p. 100	65,5	Esters vinyliques renforcés de fibre de verre: Green thread, Chemline (Smith, 1982)		
		79	Polypropylène (CE, 1980b)		
		93	Ester vinylique renforcé de fibre de verre: Polythread (Smith, 1982)		
		110	KBI-40 (tantale = 60 p. 100, niobium = 40 p. 100) (CE, 1983)		
	Jusqu'à 30 p. 100	40	Chlorure de polyvinyle non plastifié, polyéthylène, polypropylène, caoutchouc de polychloroprène (néoprène), polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon®) (GF)	Caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle), caoutchouc d'éthylène propylène, caoutchouc fluoré (Viton) (GF)	Polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc artificiel butadiène-acrylonitrile (nitrile, Buna® N) (GF)
		60	Polyéthylène, polypropylène, caoutchouc de polychloroprène (néoprène), polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon®) (GF)	Chlorure de polyvinyle non plastifié, caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle), caoutchouc d'éthylène propylène, caoutchouc fluoré (Viton) (GF)	Polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc artificiel butadiène-acrylonitrile (nitrile, Buna® N) (GF)
		92	Hastelloy® B-2, zirconium, tantale (CE, 1980a)		
	> 30 p. 100	20	Chlorure de polyvinyle non plastifié, polyéthylène, polypropylène, polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon®) (GF)	Caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle), caoutchouc d'éthylène-propylène, caoutchouc de polychloroprène (néoprène), caoutchouc fluoré (Viton) (GF)	Polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc artificiel butadiène-acrylonitrile (nitrile, Buna® N) (GF)

Application	État du produit chimique		Matériau recommandé	Matériau à employer avec réserves	Matériau déconseillé
	Teneur	Temp. (°C)			
	> 30 p. 100	60	Chlorure de polyvinyle non plastifié, polypropylène, polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon® N) (GF)	Polyéthylène, caoutchouc de polychloroprène (néoprène) (GF)	Polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc artificiel butadiène-acrylonitrile (nitrile, Buna® N), caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle), caoutchouc d'éthylène-propylène (GF)
		80	Polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon® N) (GF)	Caoutchouc de polychloroprène (néoprène)** (GF)	Chlorure de polyvinyle non plastifié, polyéthylène, polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc artificiel butadiène-acrylonitrile (nitrile, Buna® N), caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle), caoutchouc d'éthylène-propylène, caoutchouc fluoré (Viton) (GF)
	30 p. 100	92	KBI-40 (tantale = 60 p. 100, niobium = 40 p. 100) (CE, 1983)		
	36 p. 100	81	KBI-40 (tantale = 60 p. 100, niobium = 40 p. 100) (CE, 1983)		
	36,5 p. 100	24	Ester vinylique renforcé de fibre de verre: Green thread (Smith, 1982)		
		65,5	Ester vinylique renforcé de fibre de verre: Polythread (Smith, 1982)		
	Jusqu'à 38 p. 100	Température ambiante	Hastelloy® C-4, Inconel® 825 (CE, 1980a)		
		59	Hastelloy® B-2, zirconium, tantale (CE, 1980a)		

Application	État du produit chimique		Matériau recommandé	Matériau à employer avec réserves	Matériau déconseillé
	Teneur	Temp. (°C)			
	38 p. 100		Caoutchouc d'isobutylène-isoprène (butyle)**, polyéthylène chlorosulfonique (Hypalon®), caoutchouc d'éthylène propylène** (GPP)		Caoutchouc de styrène-butadiène (GR-5, Buna S), caoutchouc de polychloroprène (néoprène)
		52	Polypropylène (CE, 1980b)		
		60	Chlorure de polyvinyle (TPS, 1978)		
		85	Caoutchouc naturel (dur) (CE, 1980b)		
		100	Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)		
			Graphite imperméabilisé (CE, 1980b)		
		134	Fluorure de polyvinylidène (CE, 1980b)		
	90 p. 100	24	Verre (CDS, 1967)		
	100 p. 100	–			Aciers inoxydables 304 et 316 (CE, 1980a)
		24	Bois (CDS, 1967)		Béton (CDS, 1967)
		24 à 100	Verre (CDS, 1967)		
		200	Téflon® : tétrafluoroéthylène (CE, 1980b)		
		204	Téflon® : éthylène-propylène fluoré (CE, 1980b)		
	Toutes teneurs	–	Verre*** (Kirk-Othmer, 1980)		
		38	Hastelloy® C-276 (CE, 1983)	Niobium (CE, 1983)	Titane, alliage «Carpenter» (CE, 1983)
		60	Caoutchouc naturel (mou) (Kirk-Othmer, 1980)		
		170	Graphite**** (Kirk-Othmer, 1980)		

* Les matériaux indiqués ici servent à garnir l'intérieur des conduites et raccords employés avec l'acide chlorhydrique, et ils ne sont pas les seuls à convenir à cette fin. Les autres matériaux employés pour la fabrication des conduites et des raccords mêmes sont indiqués dans la section 5 du tableau.

** Une autre source de référence attribue à ces matériaux un rendement inférieur à celui qui est indiqué ici.

*** La résistance à la corrosion varie avec le type de verre.

**** Le graphite est imperméabilisé avec des résines époxy, phénoliques ou furanniques.

Tableau 9
Résistance chimique de certains matériaux aux acides minéraux

Matériau	Température de fonctionnement (°C)	Résistance chimique aux acides minéraux
Polyéthylène		
Faible masse volumique	60 à 77	Bonne (acides faibles et forts)
Masse volumique moyenne	71 à 93	Excellente (acides faibles et forts)
Masse volumique élevée	92 à 200	Excellente (acides faibles et forts)
Chlorure de polyvinyle		
Rigide	70 à 74	Excellente (acides faibles); bonne à excellente (acides forts)
Non rigide	80 à 105	Passable à bonne (acides faibles); passable à bonne (acides forts)
Acrylonitrile-butadiène-styrène	88 à 110	Bonne (acides faibles et forts)

Source: CRC, 1982.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

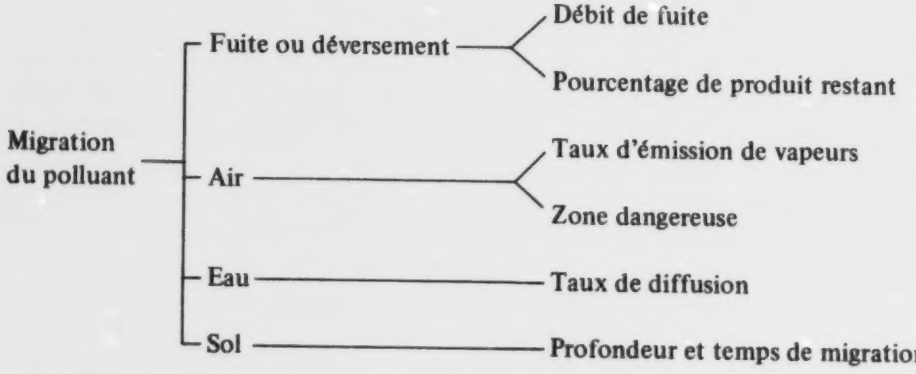
5.1 Aperçu général

Le chlorure d'hydrogène anhydre est en général transporté à l'état liquide sous pression, alors que l'acide chlorhydrique est transporté dans des wagons-citernes à la pression atmosphérique. Déversés accidentellement sur le sol, les deux états formeront une nappe liquide, qui s'étalera à la surface du sol, ainsi qu'un nuage de vapeur produit par l'évaporation de la nappe liquide dans l'atmosphère. Le chlorure d'hydrogène anhydre déversé sur le sol libérera un nuage de vapeurs (sous forme de bouffée) beaucoup plus rapidement que l'acide chlorhydrique.

Déversé dans l'eau, le chlorure d'hydrogène ou l'acide chlorhydrique s'enfoncent et se dissolvent rapidement. Au contact de l'eau, le chlorure d'hydrogène bouillera et s'évaporera rapidement. Les deux produits se dissoudront dans l'eau en grande partie.

Une fraction du chlorure d'hydrogène et de l'acide chlorhydrique répandus à la surface du sol se vaporise et l'autre fraction pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et la teneur en eau de ce dernier. L'infiltration du liquide jusqu'à la nappe phréatique peut créer des problèmes sur le plan de l'environnement. Seul, un faible pourcentage du produit anhydre pourra pénétrer dans le sol à cause de sa vaporisation rapide; toutefois les deux formes du produit se mélangent à toute eau disponible et peuvent infiltrer le sol en solution plus diluée.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration du polluant dans l'air, l'eau ou le sol:



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques en prévision du pire. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques dans les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – L'acide chlorhydrique en solution aqueuse est habituellement expédié par wagon-citerne à la pression atmosphérique à une teneur maximale de 38 p. 100. On peut également expédier du chlorure d'hydrogène anhydre liquéfié sous pression. Il existe une

grande variété de modèles de wagons-citernes, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m, et il peut contenir environ 80 000 l. Le même modèle a été adopté dans tous les manuels de la collection Enviroguide pour des raisons d'uniformité. Des nomogrammes de fuite ont été préparés pour les deux formes du produit, c'est-à-dire pour la solution aqueuse transportée à la pression atmosphérique (acide chlorhydrique) et le liquide anhydre sous pression (chlorure d'hydrogène).

5.2.2 **Nomogrammes de fuites: acide chlorhydrique (aqueux).** – Si la paroi inférieure d'un wagon-citerne transportant de l'acide chlorhydrique est perforée, son contenu s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme l'acide chlorhydrique est peu volatil et que les citernes ne sont pas sous pression, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite éventuelle de vapeurs par un orifice situé sur le dessus de la citerne.

Dans le cas d'un orifice situé dans le bas d'une citerne, le débit de sortie, en l'occurrence le débit de fuite, se calcule par la méthode dite des orifices (Streeter, 1971). Le débit de fuite q est fonction de la section s et de la forme de l'orifice, de la hauteur h du liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit Cq.

Comme la force de pesanteur est souvent supérieure aux forces qui s'y opposent et à la viscosité, pour une gamme étendue de conditions, le coefficient de débit est relativement indépendant de la température et de la viscosité du fluide (Rouse, 1961).

5.2.2.1 **Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement.** – La figure 11 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne (2,75 m de diamètre sur 13,4 m de longueur) est initialement plein (lorsque $t = 0$) et contient un volume d'environ 80 000 l d'acide chlorhydrique. Le volume de liquide restant, après un temps d'écoulement donné t, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 **Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement.** – La figure 12 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps d'écoulement donné t, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 **Nomogrammes de fuites: chlorure d'hydrogène anhydre.** – Si la paroi inférieure d'un wagon-citerne transportant du chlorure d'hydrogène anhydre est perforée, son contenu s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Le débit de fuite q est fonction de la hauteur h du liquide au-dessus de l'orifice, de la pression P à l'intérieur de la citerne, de la section et de la forme de l'orifice s et du coefficient de débit Cq.

Si la paroi supérieure d'un wagon-citerne est perforée, ou tout point situé au-dessus du niveau du liquide, des vapeurs s'échapperont jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé et que la pression interne soit devenue égale à la pression atmosphérique. Pour préparer les nomogrammes, on a établi une température du liquide constante (isotherme) et égale à la température ambiante (temp.$_a$). De plus, on a supposé que le débit de fuite q des vapeurs était constant

Figure 11

ACIDE CHLORHYDRIQUE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

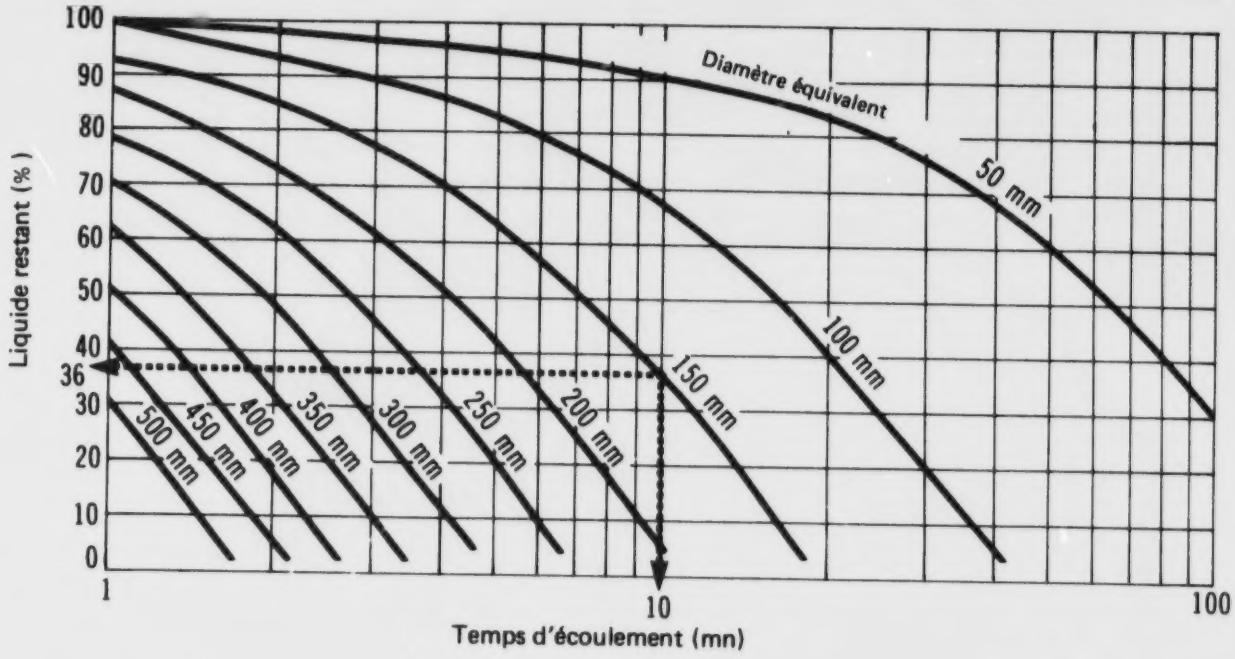
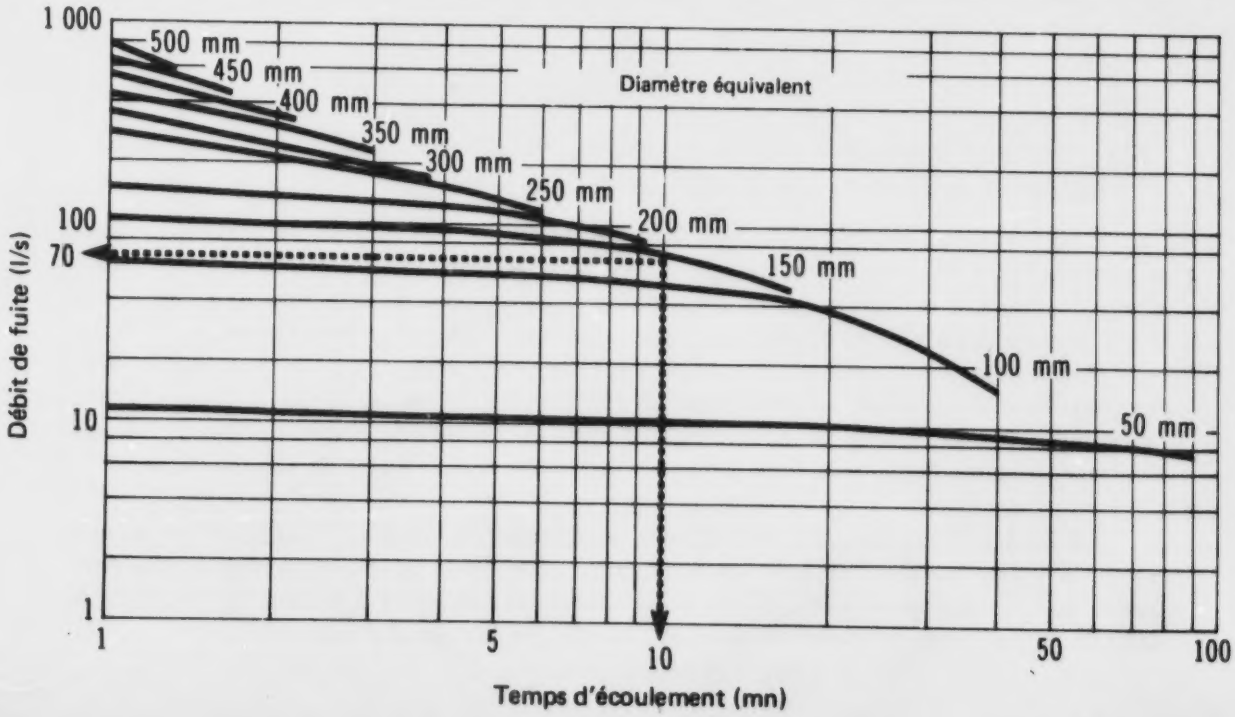


Figure 12

ACIDE CHLORHYDRIQUE

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT



jusqu'à vaporisation complète du liquide. Le débit de fuite des vapeurs est fonction de la pression interne P_i de la citerne, qui est égale à la pression de vapeur saturante P_{VS} du liquide à la température ambiante. Toutefois, en réalité, l'évaporation du produit cause un refroidissement du liquide, ce qui à son tour ralentit le taux d'évaporation. Ce refroidissement peut également (dans certains cas) entraîner la formation de glace à la surface du liquide, ralentissant encore plus le taux d'évaporation. L'hypothèse de conditions isothermes maximise le débit de fuite des vapeurs et fournit par conséquent les valeurs pour les pires conditions.

Grâce aux nomogrammes, on peut calculer le débit de fuite du produit, que ce soit par un orifice situé au bas d'une citerne (fuite du liquide) ou par un orifice situé sur le dessus d'une citerne (fuite de gaz). Les modèles ayant servi au calcul du débit de fuite sont décrits de façon détaillée dans le *Manuel d'introduction*.

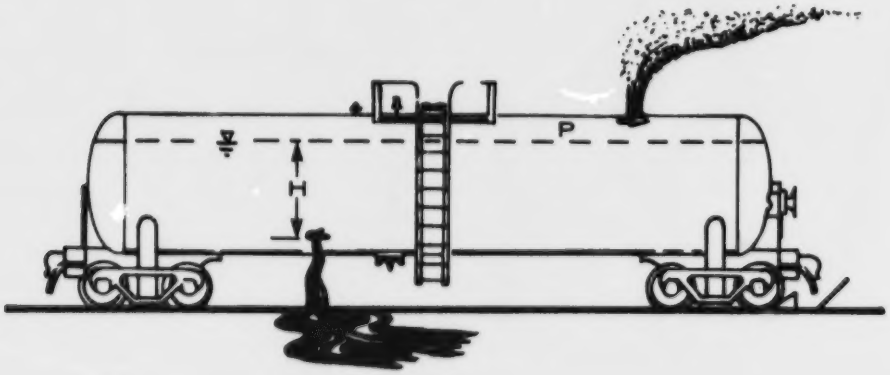


Figure 13 PERFORATION DE LA PAROI INFÉRIEURE OU DE LA PAROI SUPÉRIEURE D'UN WAGON-CITERNE

5.2.3.1 Perforation de la paroi inférieure: fuite de liquide

5.2.3.1.1 Pourcentage restant en fonction du temps. – La figure 14 permet d'évaluer le pourcentage d'acide chlorhydrique restant dans le wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type a 2,75 m de diamètre et 13,4 m de longueur, qu'il contient 80 000 l d'acide chlorhydrique à 40 °C et qu'il est plein au moment du bris (lorsque $t = 0$). Le volume de liquide restant après un temps d'écoulement donné t n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.3.1.2 Débit de fuite en fonction de la taille de l'orifice. – La figure 15 permet d'évaluer le débit maximal de fuite (en litres par seconde) pour un certain nombre de diamètres équivalents. Comme la pression interne de la citerne est supérieure à la force de pesanteur, le débit de fuite demeure relativement constant à mesure que la citerne se vide.

Figure 14

CHLORURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

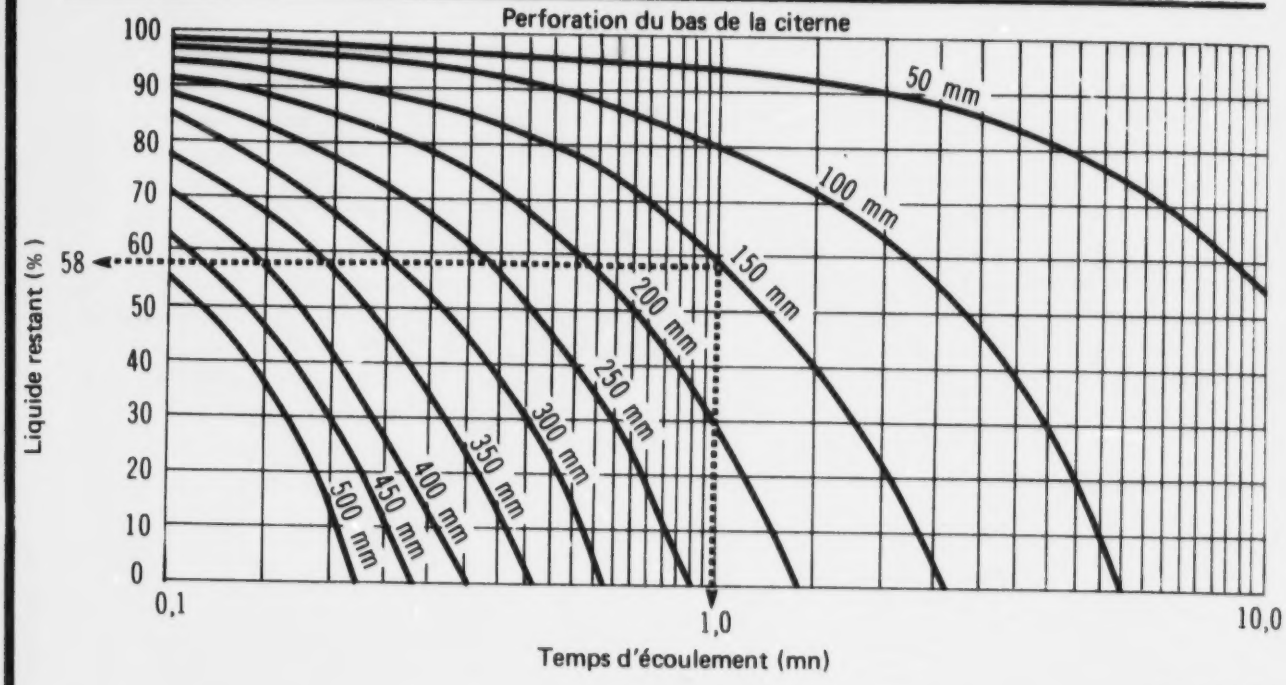
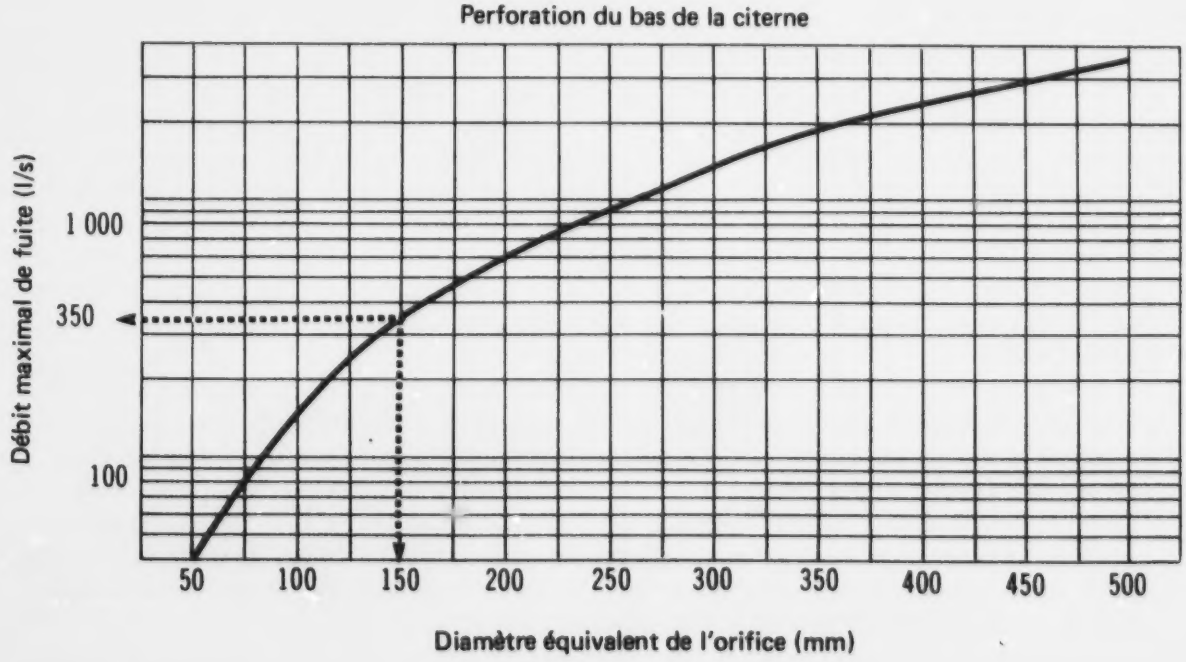


Figure 15

CHLORURE D'HYDROGÈNE

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE L'ORIFICE



5.2.3.2 Perforation de la paroi supérieure: fuite de vapeurs

5.2.3.2.1 Pourcentage restant en fonction du temps. – La figure 16 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose les conditions isothermes, et la pression interne et le débit de fuite constants. Lors de déversements réels, on a observé que 25 p. 100 à 30 p. 100 du liquide s'évaporaient rapidement et que le liquide restant, à cause du refroidissement produit par l'évaporation initiale, s'évaporait beaucoup plus lentement que prévu.

5.2.3.2.2 Débit de fuite en fonction de la taille de l'orifice. – La figure 17 permet d'évaluer le débit de fuite (en kilogrammes par seconde) du gaz pour un certain nombre de diamètres équivalents de l'orifice perforé dans la paroi du wagon-citerne au-dessus du niveau du liquide. Le débit de fuite demeurera constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé, quel que soit le diamètre de l'orifice. Cela concorde avec l'hypothèse des conditions isothermes à l'intérieur de la citerne et permet une estimation conservatrice du débit de fuite du gaz.

Les valeurs présentées à la figure 17 ne dépendent pas des dimensions du wagon-citerne, mais elles supposent une température du liquide de 40 °C, ce qui correspond à une pression de vapeur de 600 kPa.

5.2.4 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type (2,75 m de diamètre et 13,4 m de longueur), rempli d'acide chlorhydrique aqueux. L'orifice est situé dans le bas de la citerne, et son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 11): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit de fuite instantané après 10 minutes d'écoulement? Solution (voir figure 12): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

PROBLÈME C

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type (2,75 m de diamètre et 13,4 m de longueur), rempli de chlorure d'hydrogène anhydre à 40 °C. L'orifice est situé dans le bas de la citerne, et son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 1 minute et quel est le débit de fuite instantané? Solution: Étape 1. Calcul du volume de liquide restant (voir figure 14).: si t = 1 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 58 p. 100 (soit 46 400 l) du volume initial. Étape 2. Calcul du débit de fuite instantané (voir figure 15): si D = 150 mm, le débit instantané q = 350 l/s.

PROBLÈME D

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type (2,75 m de diamètre et 13,4 m de longueur) rempli de chlorure d'hydrogène anhydre à 40 °C. L'orifice est situé sur le dessus de la citerne et son diamètre équivalent est de 250 mm. En combien de temps le wagon-citerne se videra-t-il et quel est le débit de fuite du gaz, en supposant que les conditions sont isothermes? Solution: Étape 1. Calcul du temps requis pour que la citerne soit vide (voir figure 16): si D = 250 mm, la citerne se videra complètement (volume de liquide restant de 0 p. 100) en 20 mn. Étape 2. Calcul du débit de fuite du gaz (voir figure 17): si D = 250 mm et qu'il règne des conditions isothermes dans la citerne, le débit de fuite du gaz sera constant et de 72 kg/s.

Figure 16

CHLORURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS

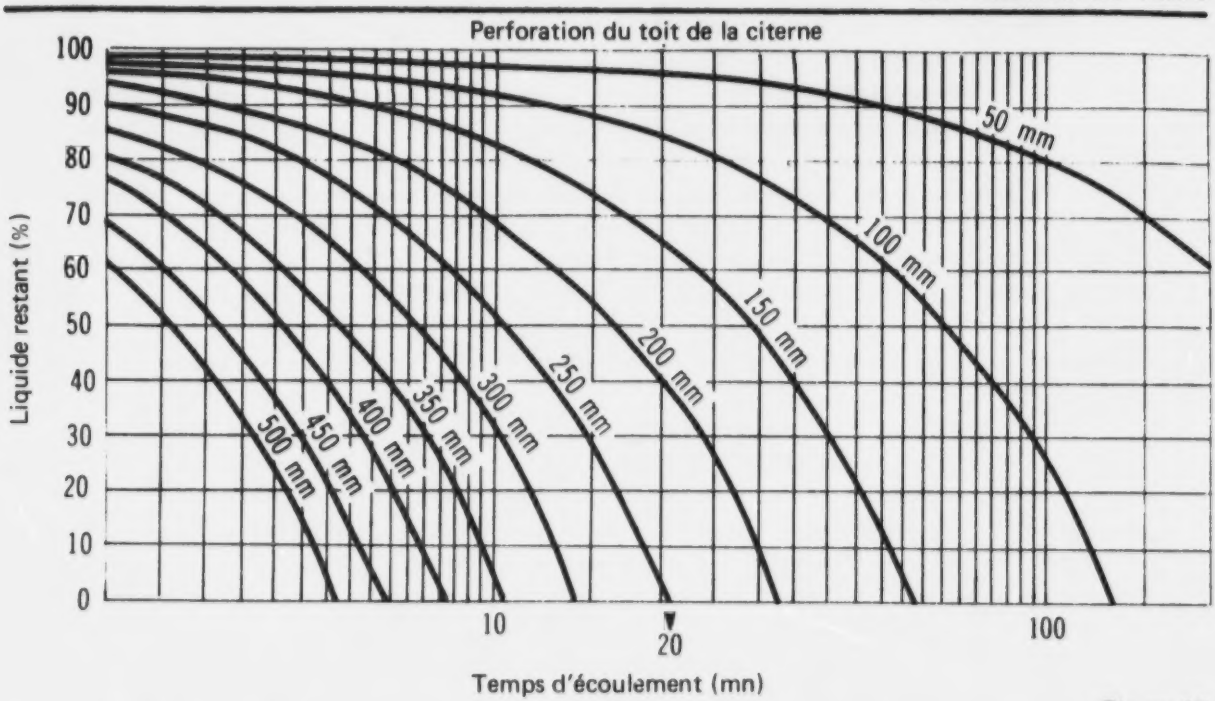
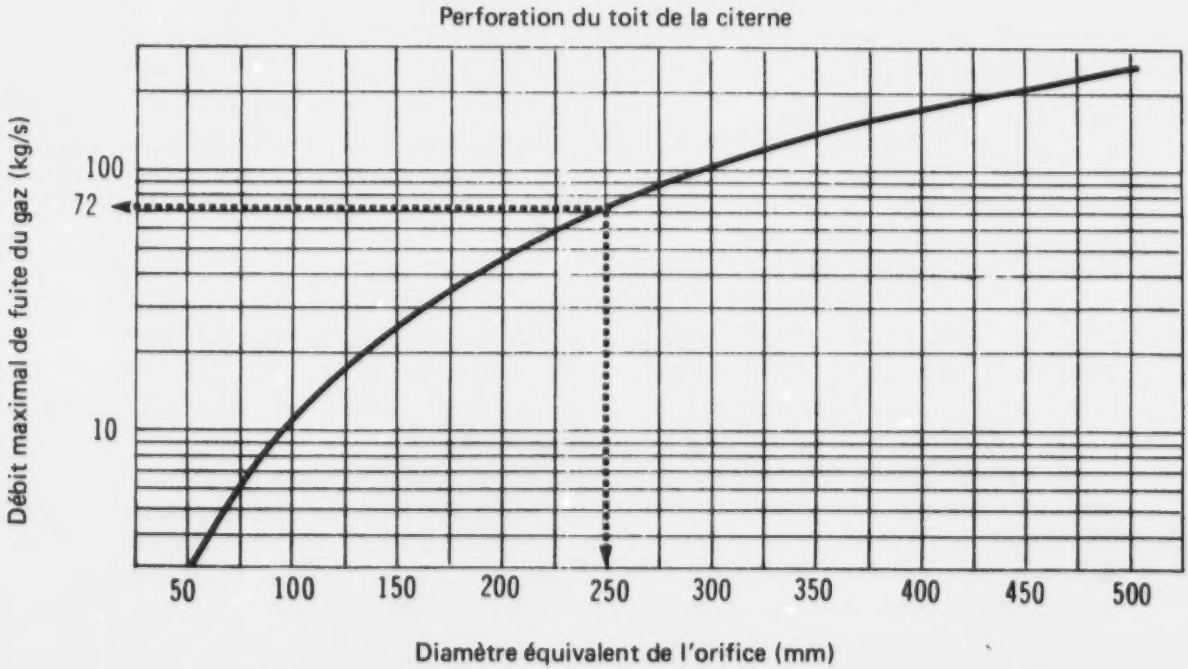


Figure 17

CHLORURE D'HYDROGÈNE

DÉBIT DE FUITE DU GAZ EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE L'ORIFICE



5.3 Diffusion atmosphérique

5.3.1 Introduction. – Le chlorure d'hydrogène liquéfié sous pression est extrêmement volatil, et lorsqu'il est déversé sur le sol ou dans un cours d'eau, il se vaporise assez rapidement pour qu'on considère que son déversement produira instantanément une bouffée de vapeurs. Le texte qui suit traite de ce type d'émission.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident en vue de déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité, il faut modéliser le transport des vapeurs et leur diffusion (turbulente) dans l'atmosphère. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide.)

La figure 18 schématise la diffusion d'un panache polluant formé par l'émission accidentelle d'une bouffée. Le modèle de diffusion considère l'aire de l'accident comme un point source d'émission instantanée, avec une masse de vapeurs émises m_e équivalant à la masse totale m de polluant déversé.

Bien qu'il n'existe pas de renseignements pertinents sur le comportement d'un nuage de chlorure d'hydrogène gazeux, il faut s'attendre à ce que le nuage se comporte comme un gaz plus lourd que l'air pendant la période initiale qui suit immédiatement le déversement. Cela est dû surtout à la densité plus élevée du chlorure d'hydrogène gazeux (1,3 fois celle de l'air à 20 °C) et au fait que le nuage de vapeur produit par la masse de liquide froid sera froid lui aussi. Par conséquent, il est possible d'observer pendant la période initiale que le gaz a tendance à se tenir au ras du sol et à s'accumuler dans les dépressions de terrain. L'étendue des panaches (bouffées) plus lourds que l'air décrits par le modèle gaussien classique est en général moins grande qu'à l'observation. Dès son émission dans l'atmosphère, le nuage de vapeurs réagit au contact de l'humidité atmosphérique et forme un nuage d'acide chlorhydrique. Ce phénomène se produira très rapidement là où le taux d'humidité est élevé.

Les déversements d'acide chlorhydrique ont des répercussions très similaires aux déversements de chlorure d'hydrogène anhydre. L'acide chlorhydrique est toutefois moins volatil que le chlorure d'hydrogène anhydre, et les nomogrammes de diffusion des vapeurs et les tableaux préparés pour le chlorure d'hydrogène anhydre surévalueront les répercussions d'un déversement d'acide chlorhydrique.

5.3.2 Nomogrammes et tableaux relatifs à la diffusion des vapeurs. – Les nomogrammes de diffusion atmosphérique servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes et tableaux présentés ci-après apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés:

Tableau 10 Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Figure 20 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories de conditions météorologiques

Tableau 11 Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse

Figure 22 Distance parcourue par la bouffée, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses du vent

La figure 19 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, seules les étapes encadrées dans la figure sont décrites dans la présente section. Se reporter à la section 5.2 pour les données relatives à la masse totale de vapeurs émises. Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de diffusion et à son utilisation.

Figure 18

CHLORURE D'HYDROGÈNE — **FORMATION D'UNE BOUFFÉE DE VAPEURS**

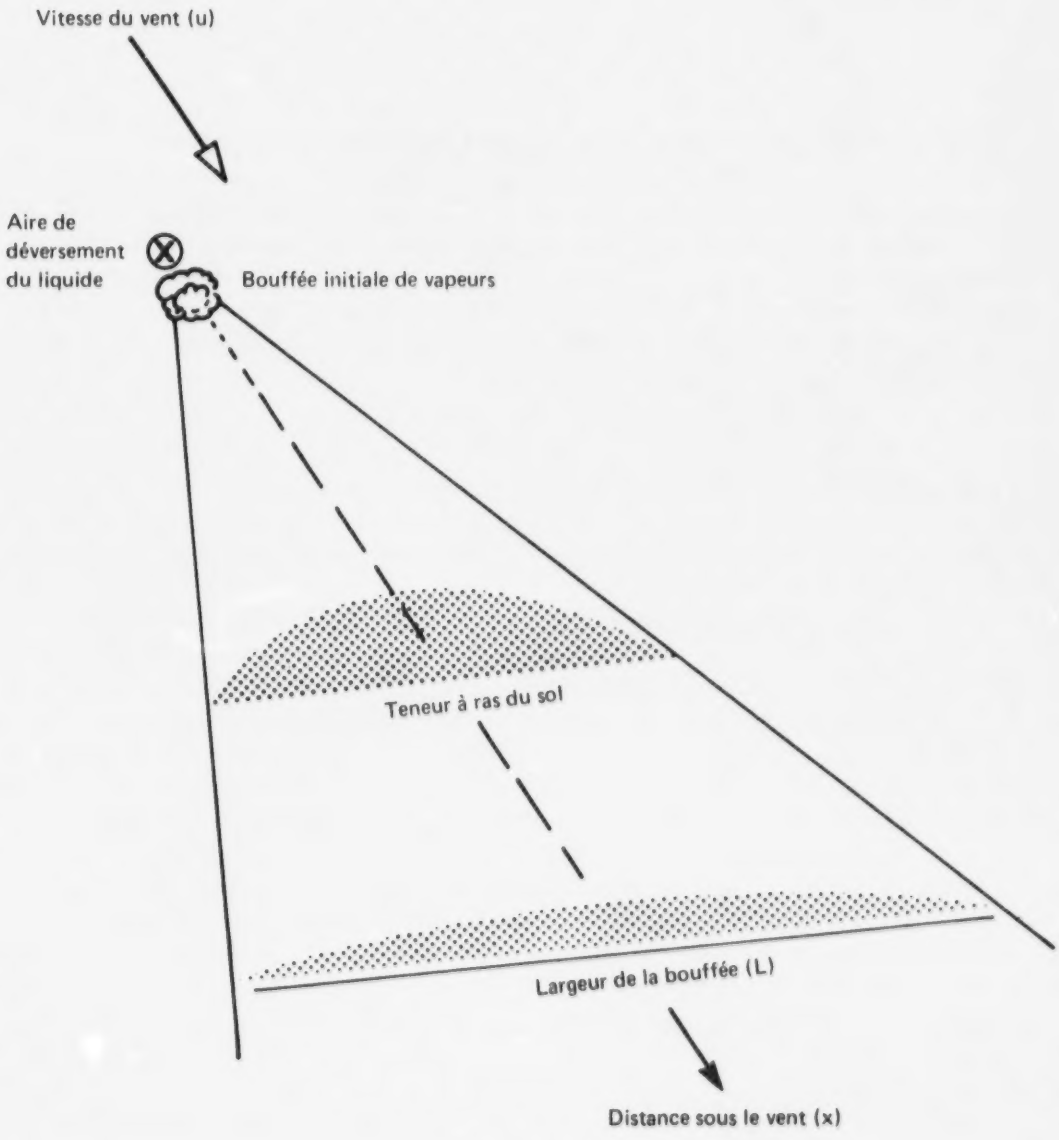


Figure 19

CHLORURE D'HYDROGÈNE

ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE

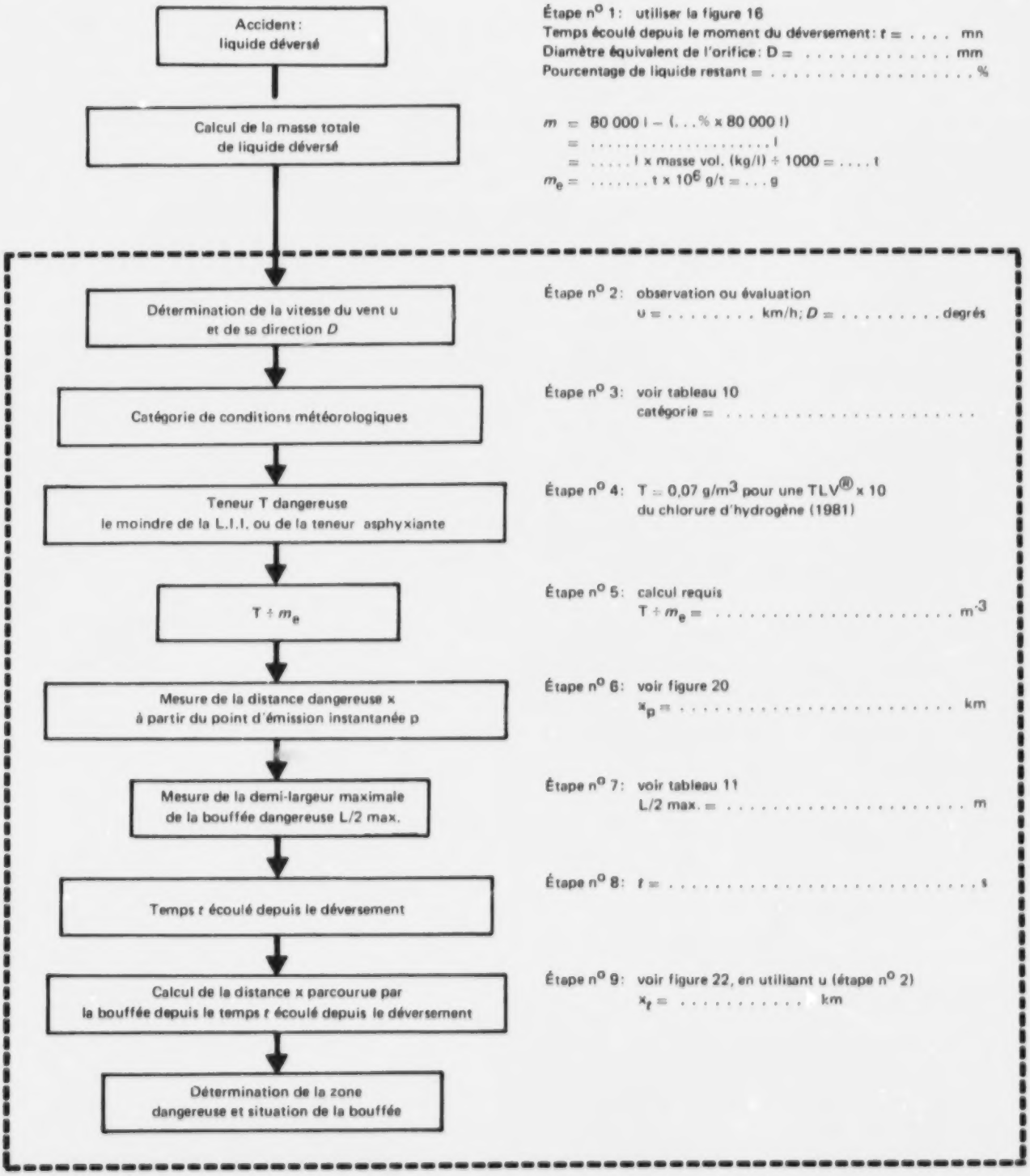


Tableau 10
Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≃ 3 m/s) et l'une des situations suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température	Valable pour toutes les autres conditions

5.3.2.1 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. – La figure 20 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluants, sous forme de vapeurs, distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Les nomogrammes ont été préparés à l'aide de modèles de diffusion décrits dans le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée T/m_e au niveau du sol, le long de la médiane de la bouffée schématisée. La catégorie F de conditions météorologiques est la moins propice à la diffusion de la bouffée; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 10) avant d'employer la figure 19.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 20, si l'on possède les données suivantes:

- Masse totale m_e de vapeurs émises (équivalant à la masse totale m de liquide déversé), en grammes.
- Vitesse du vent u, en mètres par seconde.
- Catégorie de conditions (météorologiques) de stabilité.
- Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre la *Threshold Limit Value*® (g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3). Dans le cas de vapeurs inflammables, la teneur T dangereuse limite équivaut à dix fois la TLV® . À noter, que la figure 21 permet de convertir en g/m^3 la valeur de la TLV® exprimée en ppm.

Un teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV® , a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées. À noter qu'une teneur en chlorure d'hydrogène de 50 ppm a des effets sur la santé (voir le chapitre 7), qu'une teneur de 5 ppm a été désignée teneur plafond sur les lieux de travail et qu'aucune limite n'a été fixée pour une exposition à court terme.

5.3.2.2 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse. – Le tableau 11 présente des valeurs de la demi-largeur maximale de la bouffée L/2 max. pour une plage de valeurs de m_e en fonction des conditions de stabilité D et F. Ces données ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le *Manuel d'introduction* en supposant une teneur dangereuse limite (dans le présent cas, dix fois la TLV® de 0,007 g/m^3 du chlorure d'hydrogène) de 0,07 g/m^3.

Figure 20

CHLORURE D'HYDROGÈNE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

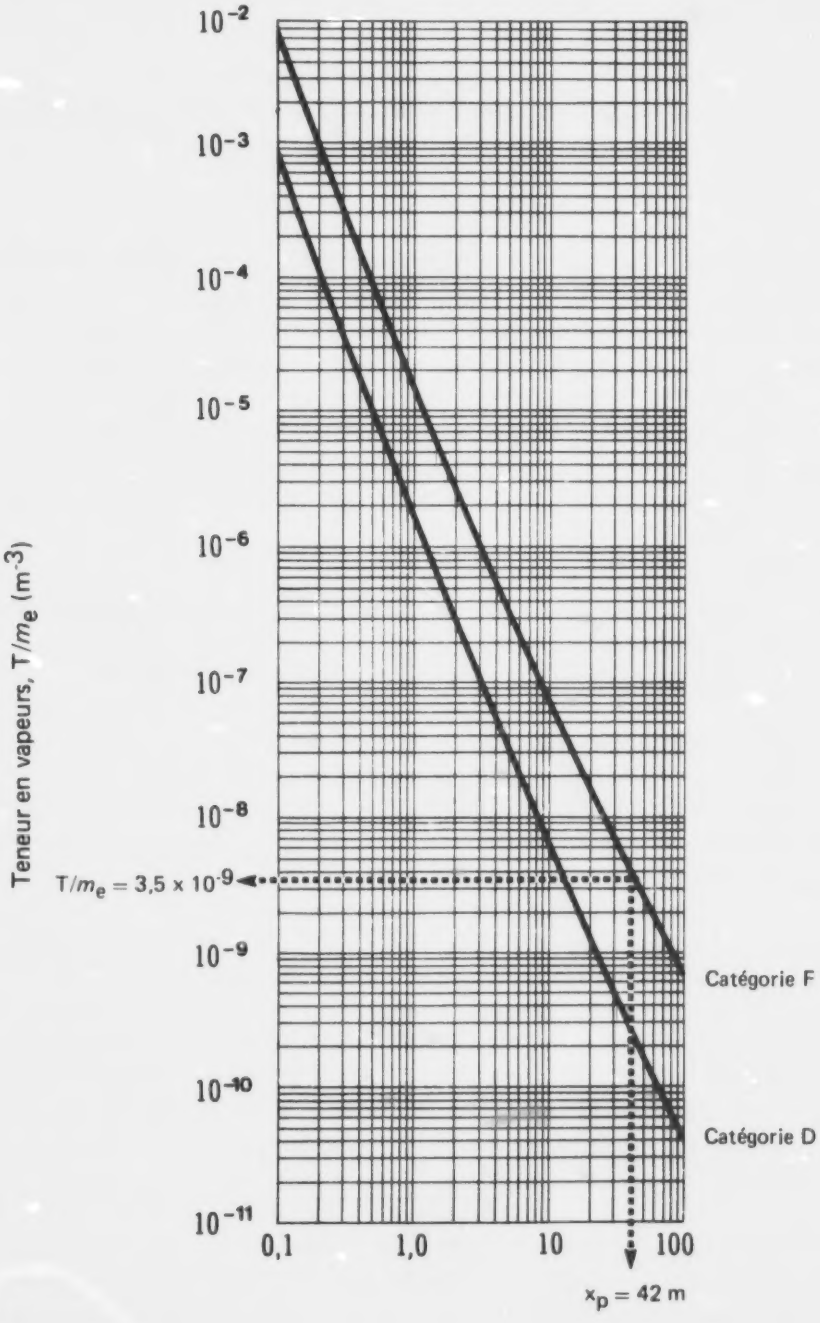


Tableau 11
Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse (chlorure d'hydrogène)

Catégorie de stabilité D			Catégorie de stabilité F		
m_e (t)	L/2 max. (m)		m_e (t)	L/2 max. (m)	
2 250	4 030	x = 99,4 km*	100	1 825	x = 97,1 km*
2 000	3 850		75	1 610	
1 500	3 450		50	1 360	
1 000	2 950		25	1 010	
750	2 650	m_e = 20 t →	20	915	→ L/2 max. = 915 m
500	2 265		10	680	
400	2 080		7,5	600	
300	1 860		5	505	
200	1 600		2	350	
100	1 225		1	270	
75	1 010		0,75	240	
50	940		0,50	205	
25	720		0,20	145	
20	670		0,10	110	
10	520		0,075	100	
7,5	465		0,05	85	
5	400		0,01	45	
2	285				
1	220				
0,75	200				
0,50	170				
0,20	120				
0,1	95				
0,075	85				
0,05	75				
0,01	40				

* Les valeurs de demi-largeur valent jusqu'à 100 km.

Remarque. – Les données ci-dessus ne valent que pour une teneur en chlorure d'hydrogène de 10 x TLV®, soit 0,07 g/m^3.

Exemple. – Pour une masse de vapeurs émises m_e = 20 t et des conditions météorologiques de catégorie F, on obtient une demi-largeur maximale de la bouffée L/2 max. de 915 m.

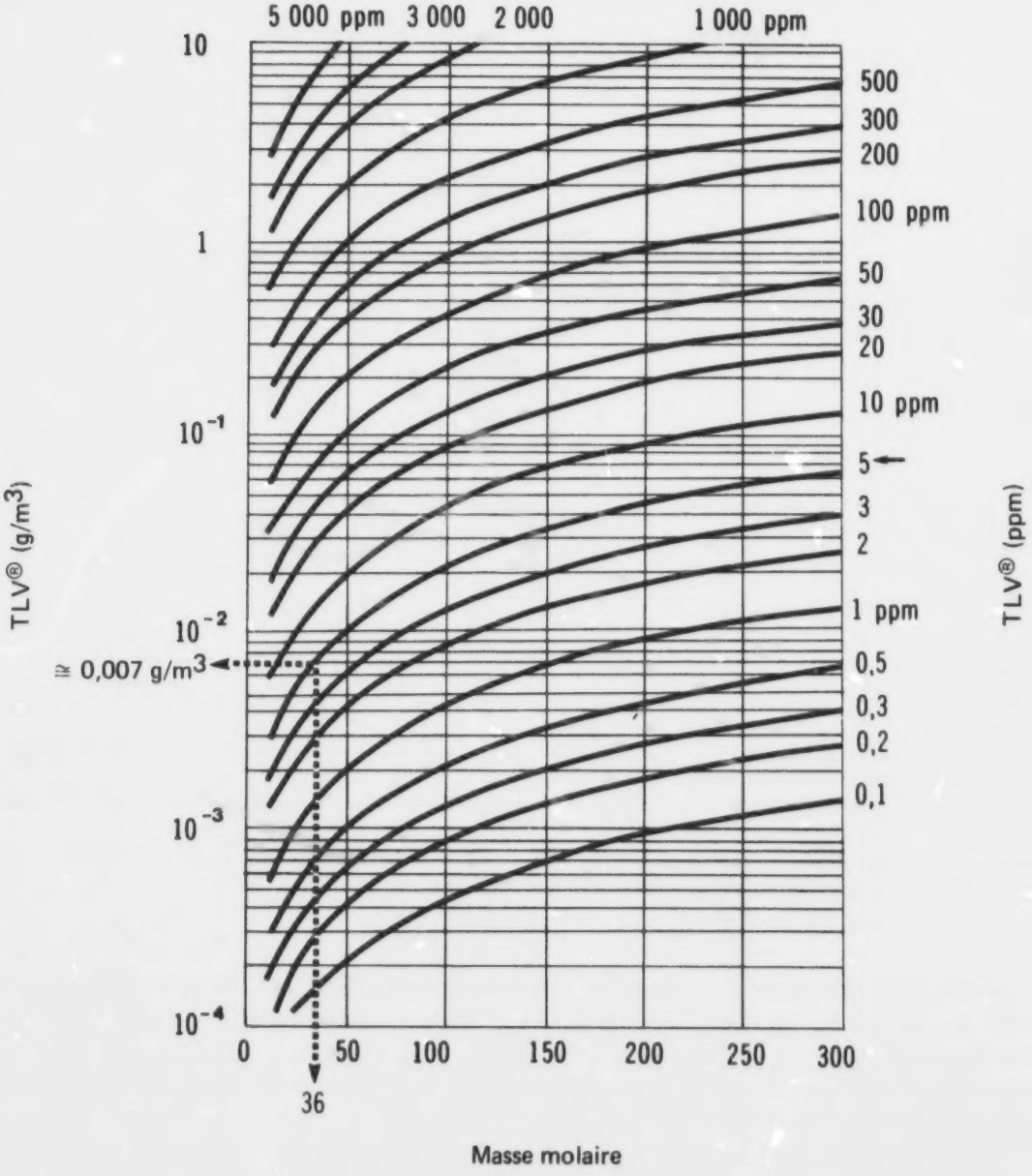
La demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse représente la demi-largeur maximale du nuage de vapeurs de chlorure d'hydrogène, situé du côté sous le vent, et atteint la teneur dangereuse limite, soit dix fois la TLV® . Le tableau 11 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite en chlorure d'hydrogène de 10 x TLV® , soit 0,07 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 km.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 m/s à 30 m/s. L'éventail des masses de vapeurs émises instantanément m_e utilisé va de 0,01 t à 2 250 t. Si tout le contenu d'un wagon-citerne de 80 000 l (17 600 gal imp.) était déversé, la masse répandue serait de 95 200 kg, soit approximativement 95 t. Le tableau 11, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses pouvant être jusqu'à 23 fois plus importantes.

Figure 21

CHLORURE D'HYDROGÈNE

CONVERSION DES UNITÉS DE TLV®
(ppm converties en g/m³)



Par exemple, si la masse molaire du chlorure d'hydrogène = 36, et la TLV® = 5 ppm, alors la TLV® en g/m³ ≅ 0,007.

Remarque. – Ces données ne valent que pour une température de 25 °C et une pression de 750 mm de Hg.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 m/s à 3 m/s. L'éventail des masses de vapeurs émises instantanément m_e utilisé va de 0,01 t à 100 t. Le tableau 11, pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction de masses pouvant aller jusqu'à l'équivalence d'un wagon-citerne de 30 000 l.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

À partir de valeurs connues de m et en fonction d'une catégorie donnée de stabilité, choisir la valeur m_e la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante de la bouffée dangereuse L/2 max., en mètres. Si un résultat plus précis est désiré, déterminer par interpolation les valeurs m_e et L/2 max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 11.)

5.3.2.3 **Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé.** – La figure 22 indique la distance x parcourue par la bouffée après un temps t de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de l'équation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION

Connaissant le temps écoulé t depuis le déversement et la vitesse du vent u, on peut déterminer la distance parcourue x_t du côté sous le vent par la bouffée.

5.3.3 **Exemple de calcul.** – L'exemple qui suit illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où s'est produit un déversement de chlorure d'hydrogène liquide. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le *Manuel d'introduction.*

Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. En cas de déversement réel, se servir si possible de données connues ou observables (par exemple, la masse de produit déversé).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de chlorure d'hydrogène anhydre ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 5, la température est de 20 °C, et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse de produit déversé est connue, soit m = 20 t ou 20 x 10^6 g ou 2 x 10^7 g.

Étape 2 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction D. Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

u = 7,5 km/h, donc u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;

D = N.-O. ou 315° (D: direction d'où souffle le vent).

Étape 3 Déterminer la catégorie appropriée de conditions météorologiques. Le tableau 10 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F puisque u < 11 km/h et que le déversement s'est produit la nuit.

Étape 4 Déterminer la teneur T dangereuse limite. Opter pour la valeur la moindre entre la TLV® x 10 et la L.I.I., dans le cas présent, les vapeurs de chlorure d'hydrogène n'étant pas inflammables, la L.I.I. ne s'applique pas T = TLV® x 10 soit 0,07 g/m^3.

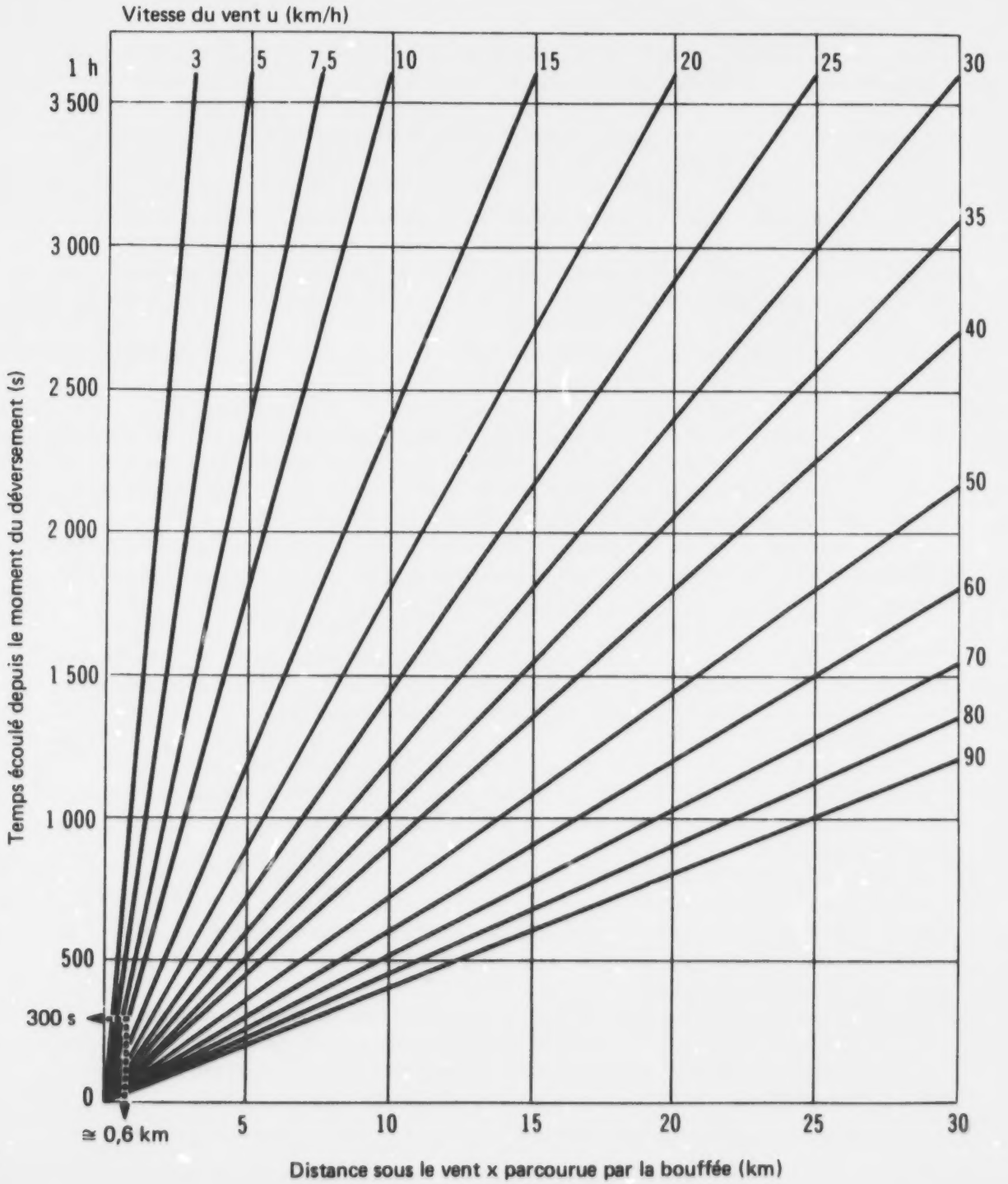
Étape 5 Calculer T/m_e.

$$T/m_e = \frac{0,07}{2 \times 10^7} = 3,5 \times 10^{-9}\ m^{-3}.$$

Figure 22

CHLORURE D'HYDROGÈNE

DISTANCE PARCOURUE PAR LA BOUFFÉE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 6 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x_p à partir du point source d'émission instantanée.

Voir la figure 20. Si $T/m_e = 3{,}5 \times 10^{-9}$ m^{-3} et que les conditions météorologiques sont de catégorie F, $x_p = 2{,}6$ km.

Étape 7 Calculer la demi-largeur de la bouffée dangereuse L/2 max. Se servir du tableau 11. Comme $m_e = 20$ t et que les conditions météorologiques sont de la catégorie F, L/2 max. = 915 m.

Étape 8 Déterminer le temps écoulé depuis le déversement.

$t = 5$ mn x 60 = 300 s.

Étape 9 Calculer la distance sous le vent parcourue x_t par la bouffée de vapeurs depuis l'accident.

Se servir de la figure 20. Comme $t = 300$ s et u = 7,5 km/h, $x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: $x_t = ut = 2{,}1$ m/s x 300 s et 630 m = 0,63 km).

Étape 10 Schématiser la zone dangereuse.

Pour ce faire, tracer un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse (915 m), et dont les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale sous le vent à partir du point d'émission instantanée (42 km) et sont orientés dans la direction du vent (voir la figure 23).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 24.

Remarque. – Au cours de cinq minutes écoulées depuis le déversement, la bouffée n'a franchi que 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 330 minutes avant que le nuage ne franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 42 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Le chlorure d'hydrogène ou l'acide chlorhydrique déversés dans l'eau se dissolvent rapidement. Il s'effectue un mélange, et le produit déversé est dilué. Dans le cas du chlorure d'hydrogène, le mélange s'accompagnera d'une ébullition violente et d'une émission de vapeurs. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les rivières, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent, alors que dans une étendue d'eau calme, il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluants d'une rivière en aval d'un lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Comme la densité relative du chlorure d'hydrogène et de l'acide chlorhydrique est supérieure à celle de l'eau, la teneur maximale devrait être observée près du fond.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux rivières dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, consulter le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide.)

Figure 23

CHLORURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

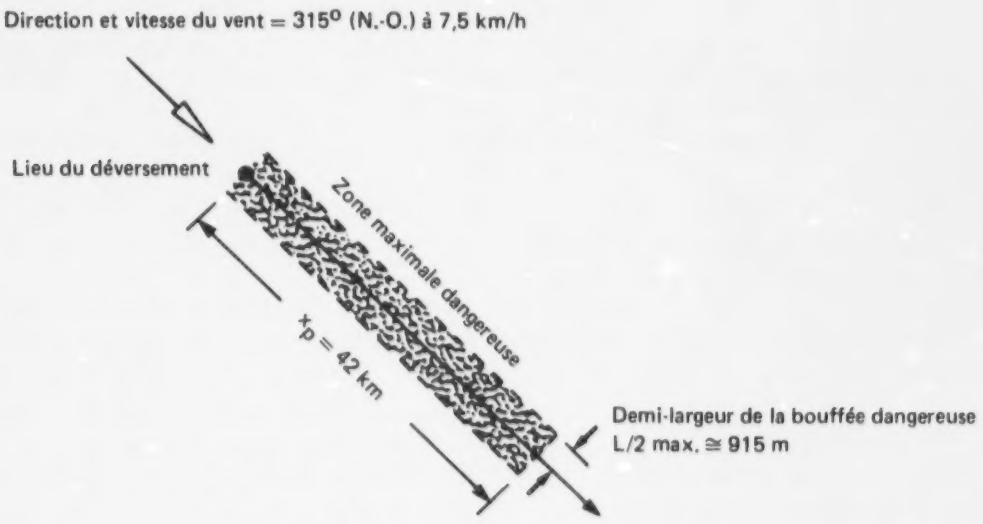
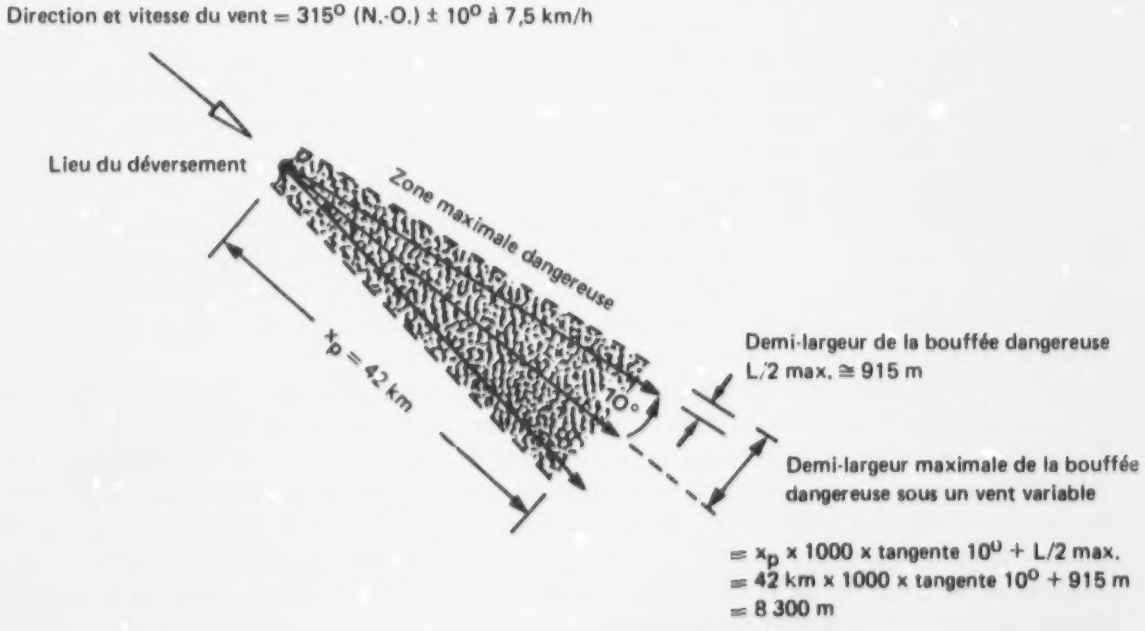


Figure 24

CHLORURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



En ce qui trait à la diffusion moléculaire dans une étendue d'eau calme, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de diffusion du polluant dans l'eau. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant dans les rivières non soumises aux marées et dans les étendues d'eau calme.

A. – Rivières non soumises aux marées

Figure 26 Distance en fonction du temps pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 27 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau)

Figure 28 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 29 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente pour différentes valeurs de temps écoulé

Figure 30 Delta* en fonction de alpha pour différentes masses de liquide déversé

Figure 31 Teneur maximale en fonction de delta pour des sections mouillées de différentes surfaces

B. – Étendues d'eau calme ou lacs (au repos)

Figure 32 Volume d'eau en fonction du rayon de la zone dangereuse pour différentes profondeurs du lac (hauteurs d'eau)

Figure 33 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse pour différentes masses de liquide déversé

La figure 25 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en un point en aval après un déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les rivières non soumises aux marées

Figure 26 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps t que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 27 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 19 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 28 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

---

*Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 25

ACIDE CHLORHYDRIQUE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT DANS UNE RIVIÈRE NON SOUMISE AUX MARÉES

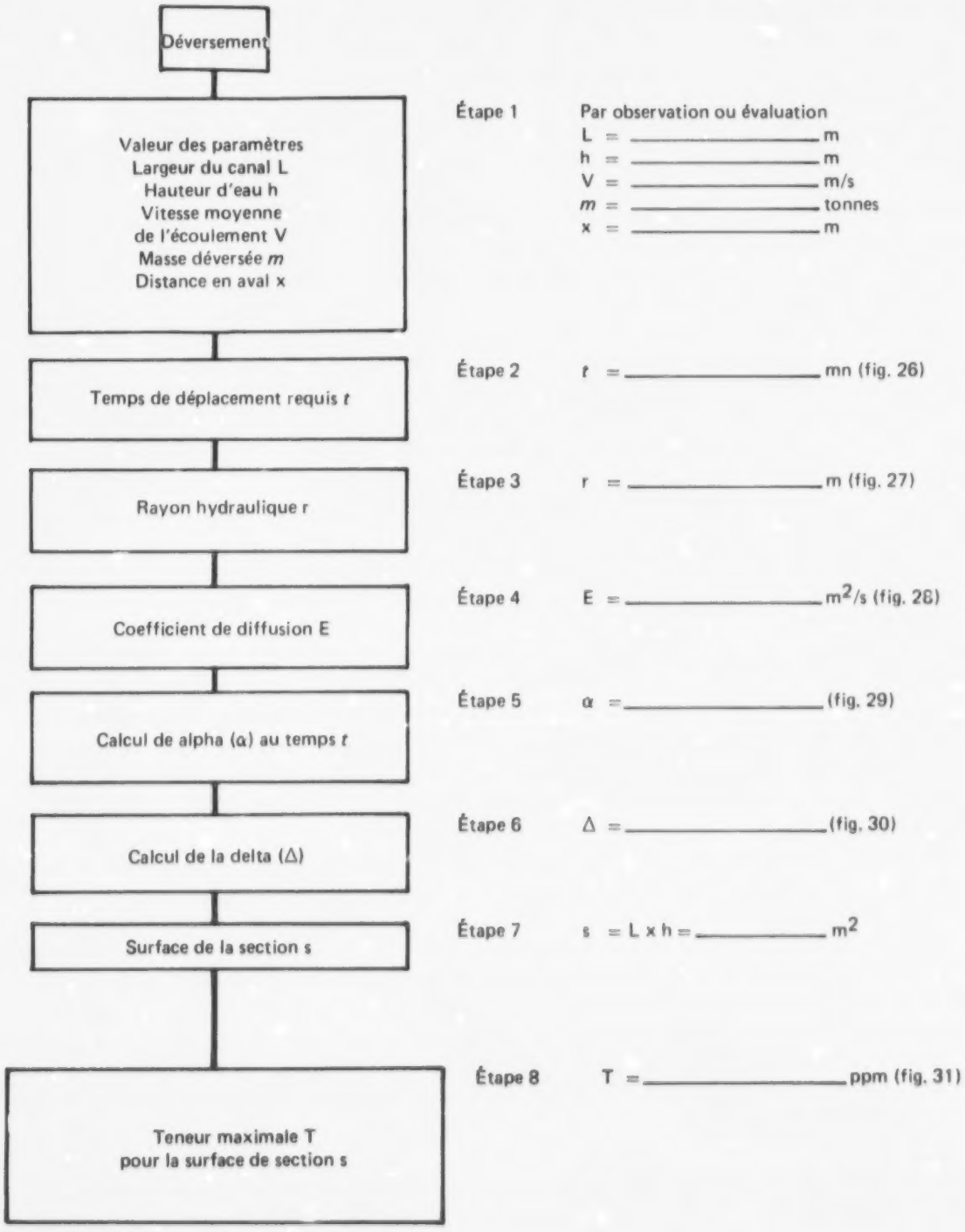


Figure 26

ACIDE CHLORHYDRIQUE — DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

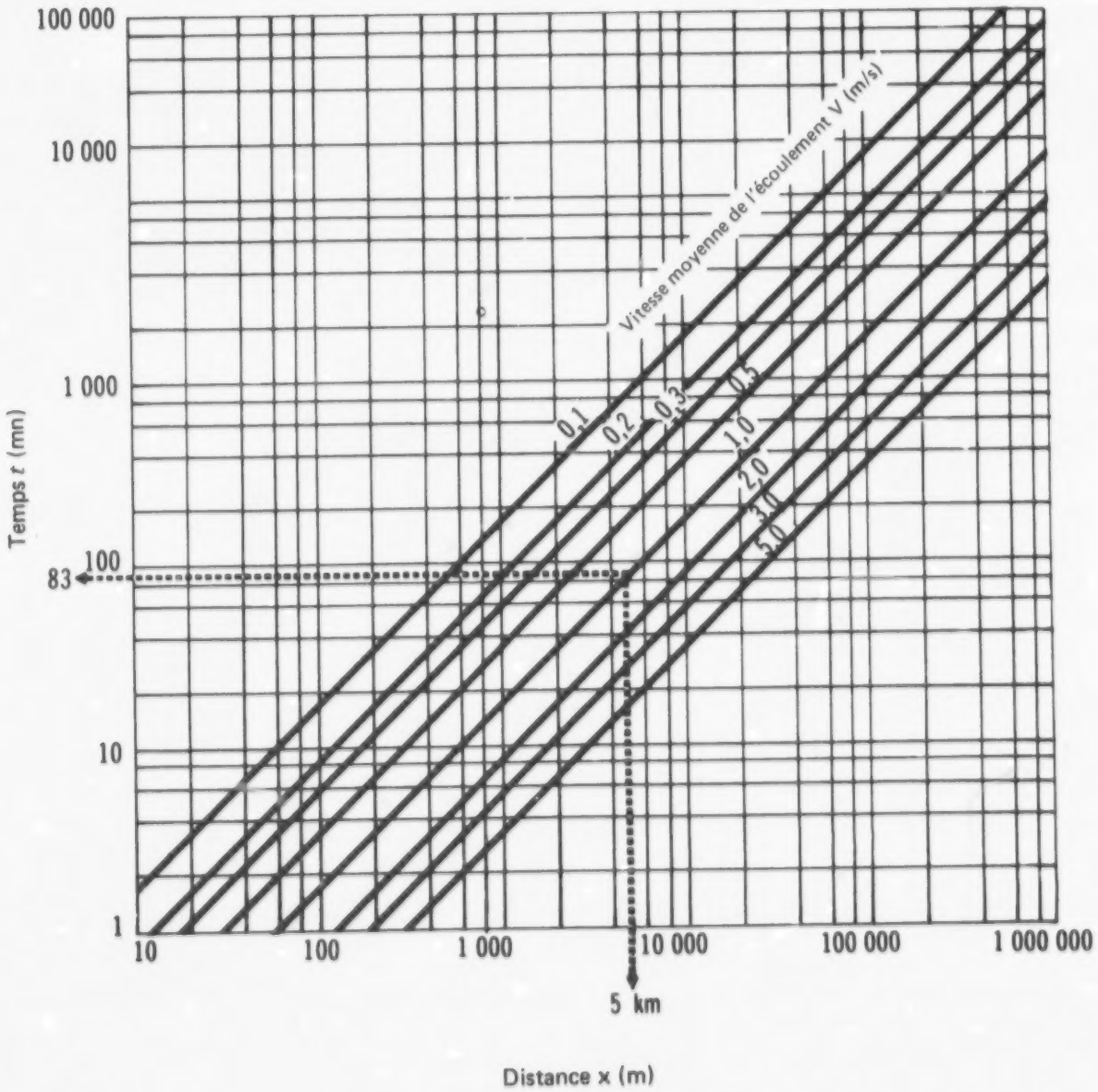


Figure 27

ACIDE CHLORHYDRIQUE

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

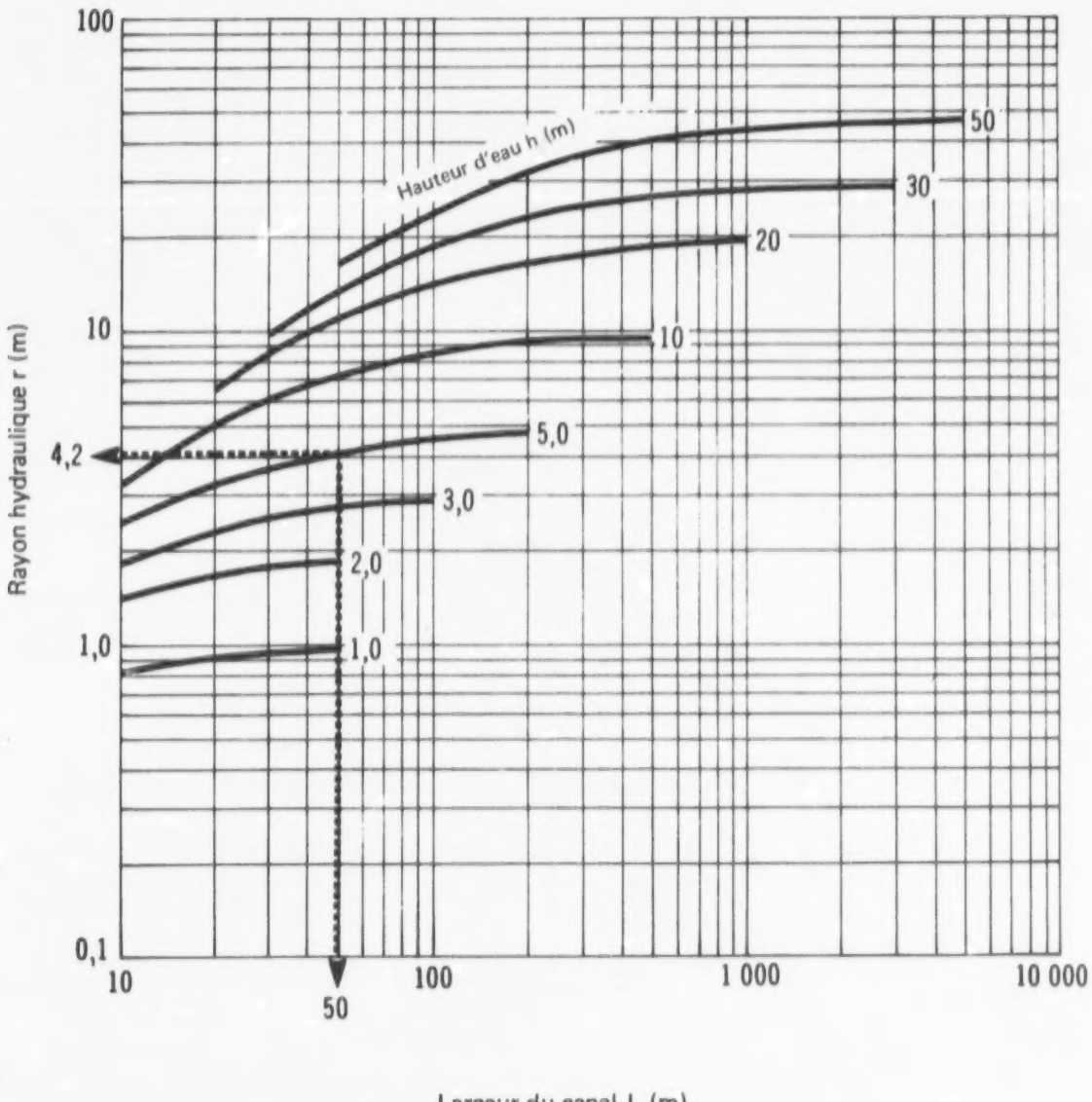


Figure 28

ACIDE CHLORHYDRIQUE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

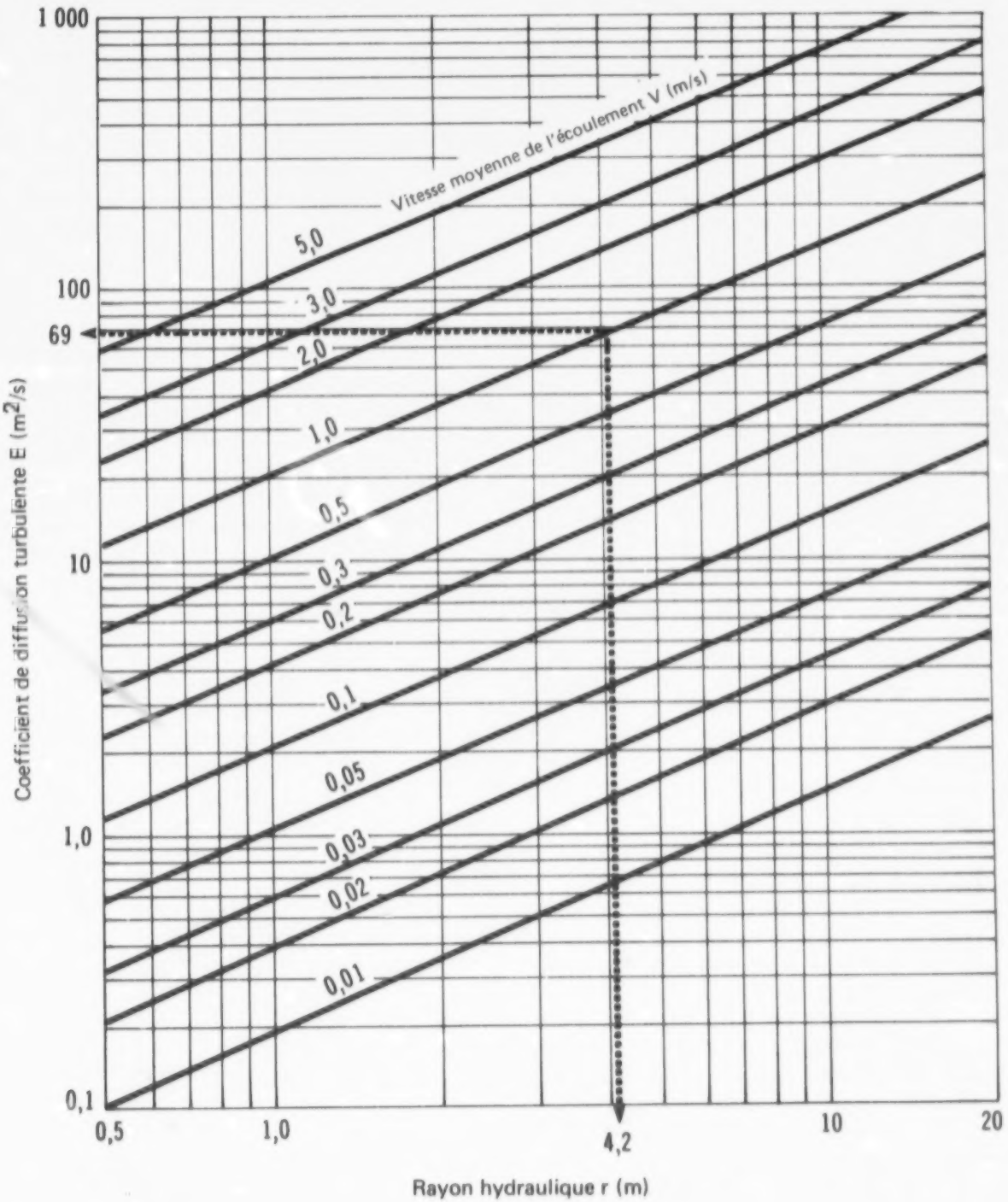


Figure 29 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 30 Delta en fonction de alpha. – Un second facteur de conversion, delta (Δ), est requis, pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 31 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)

Figure 32 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (dans l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur h égale à la hauteur d'eau à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 32. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 33 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées. – Vingt tonnes d'une solution d'acide chlorhydrique à 38 p. 100 ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s; x = 5 000 m;
m = 20 tonnes d'une solution à 38 p. 100 = 7,6 tonnes d'une solution à 100 p. 100

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point qui nous intéresse.
Comme x = 5 000 m et V = 1 m/s, *t* = 83 mn (figure 26)

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique r.
Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (figure 27)

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.
Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (figure 28)

Étape 5 Déterminer alpha (α).
Comme E = 69 m^2/s et *t* = 83 mn, α = 2 000 (figure 29)

Étape 6 Déterminer delta (Δ).
Comme α = 2 000 et *m* = 7,6 tonnes, Δ = 4 (figure 30)

Figure 29

ACIDE CHLORHYDRIQUE

ALPHA EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

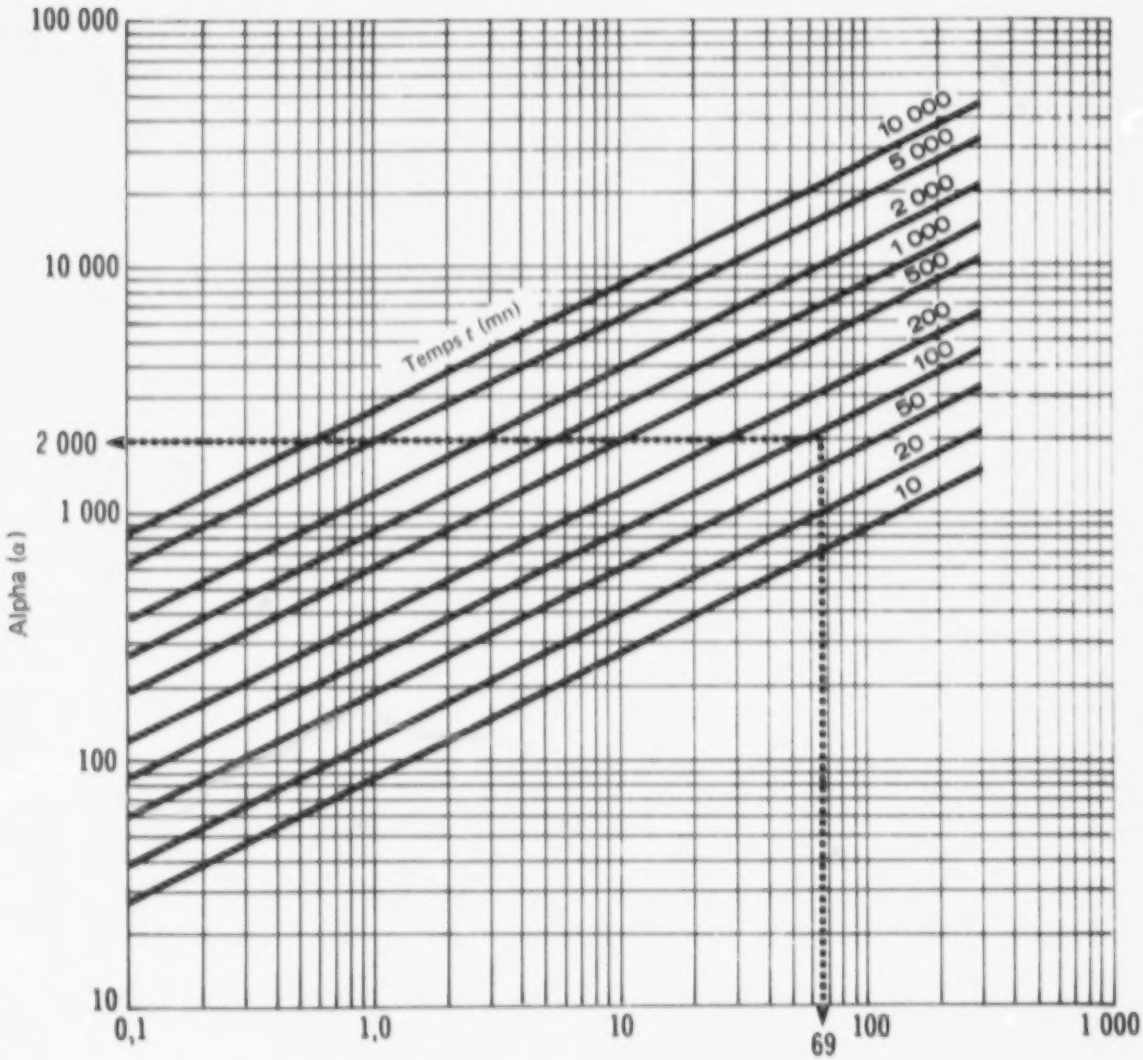


Figure 30

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **DELTA EN FONCTION DE ALPHA**

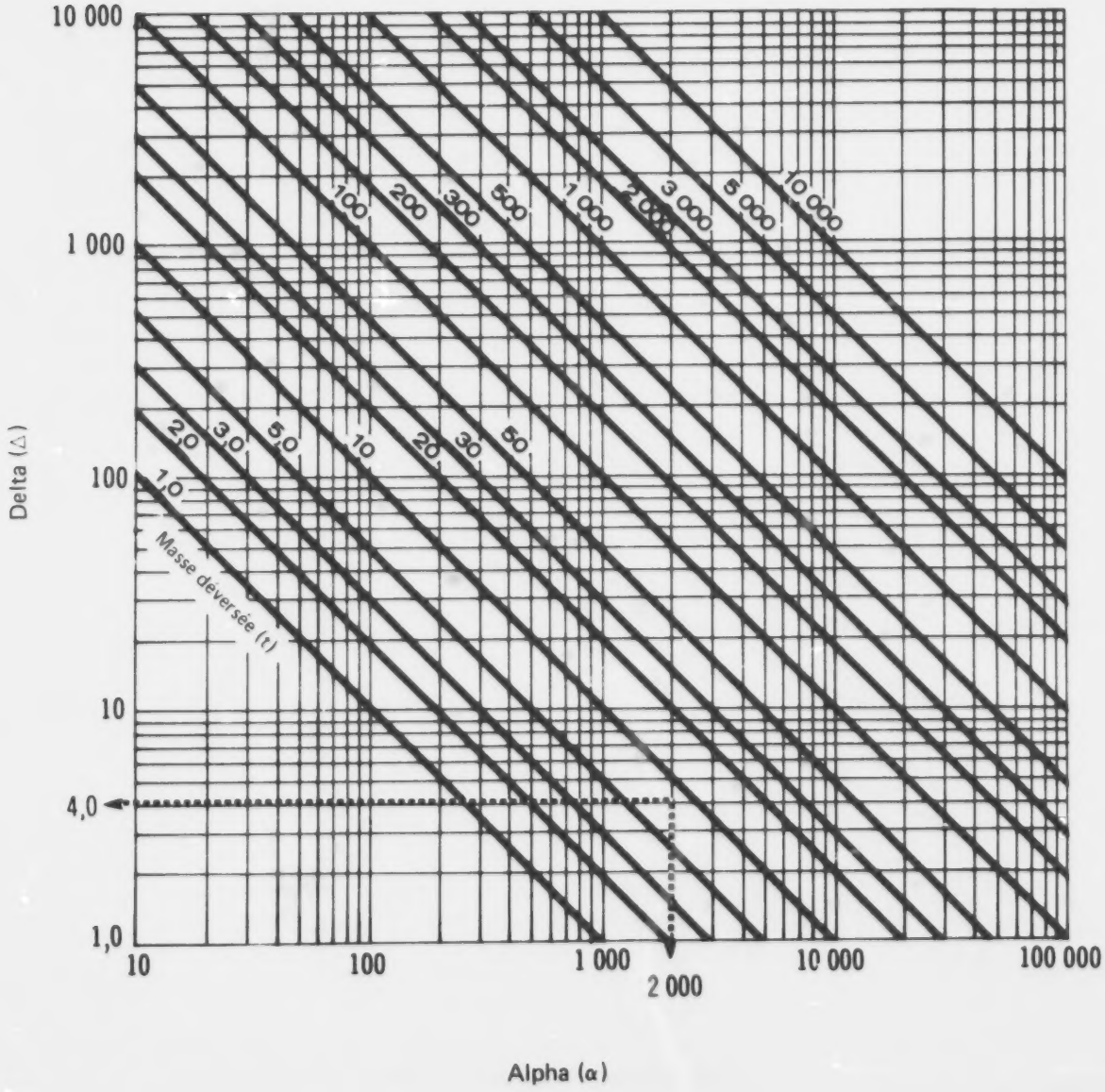


Figure 31

ACIDE CHLORHYDRIQUE — **TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA**

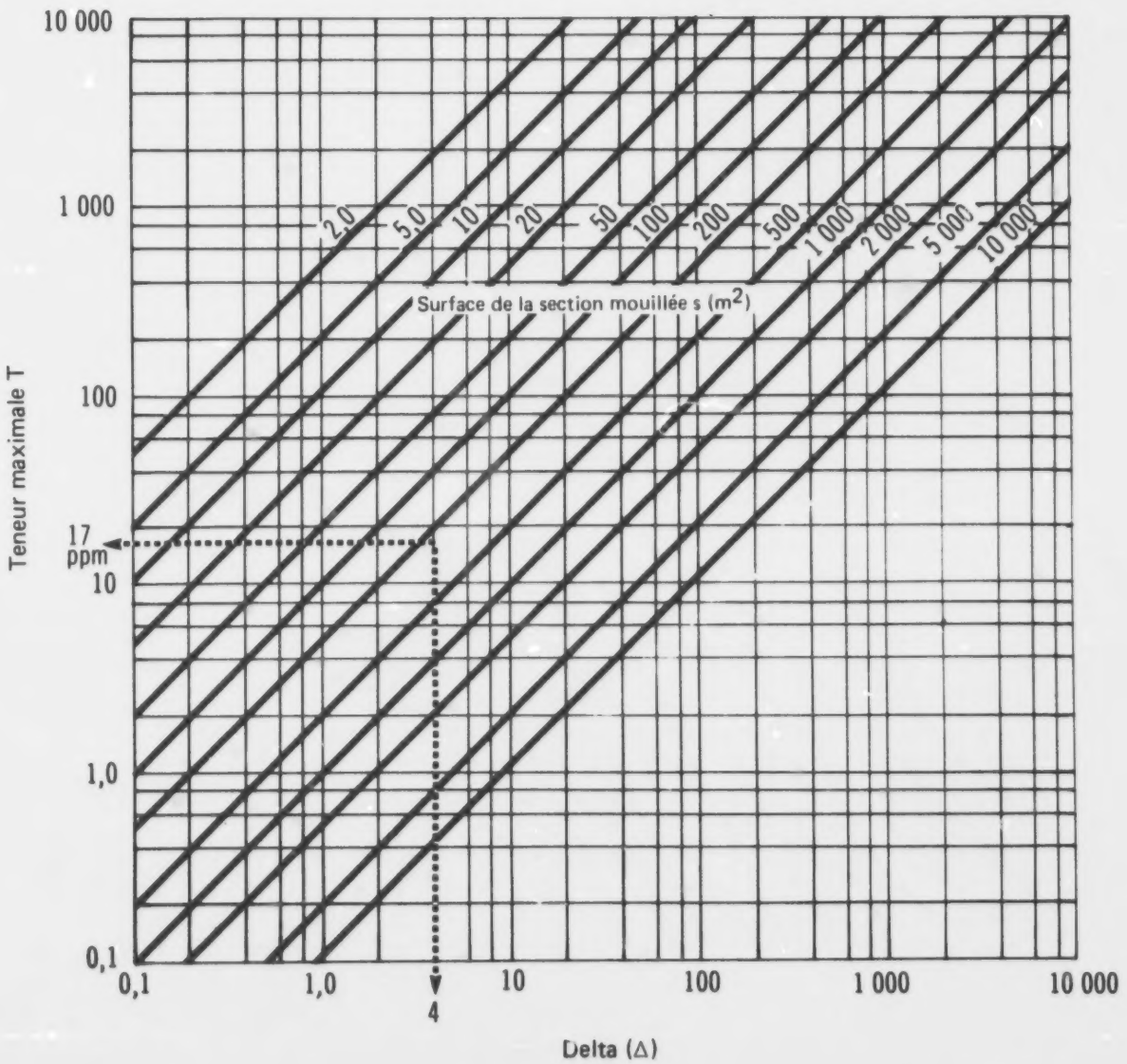


Figure 32

ACIDE CHLORHYDRIQUE

VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

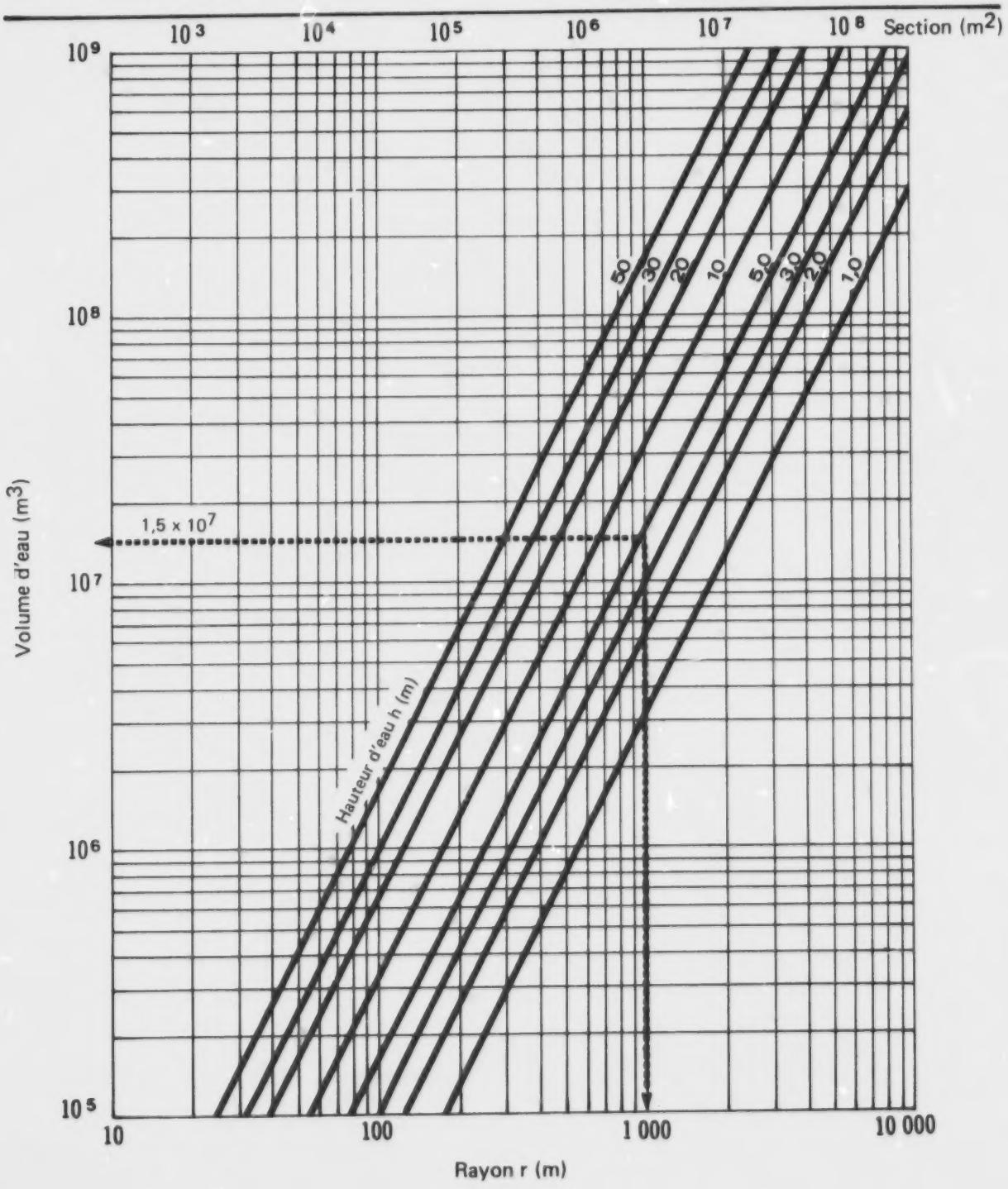
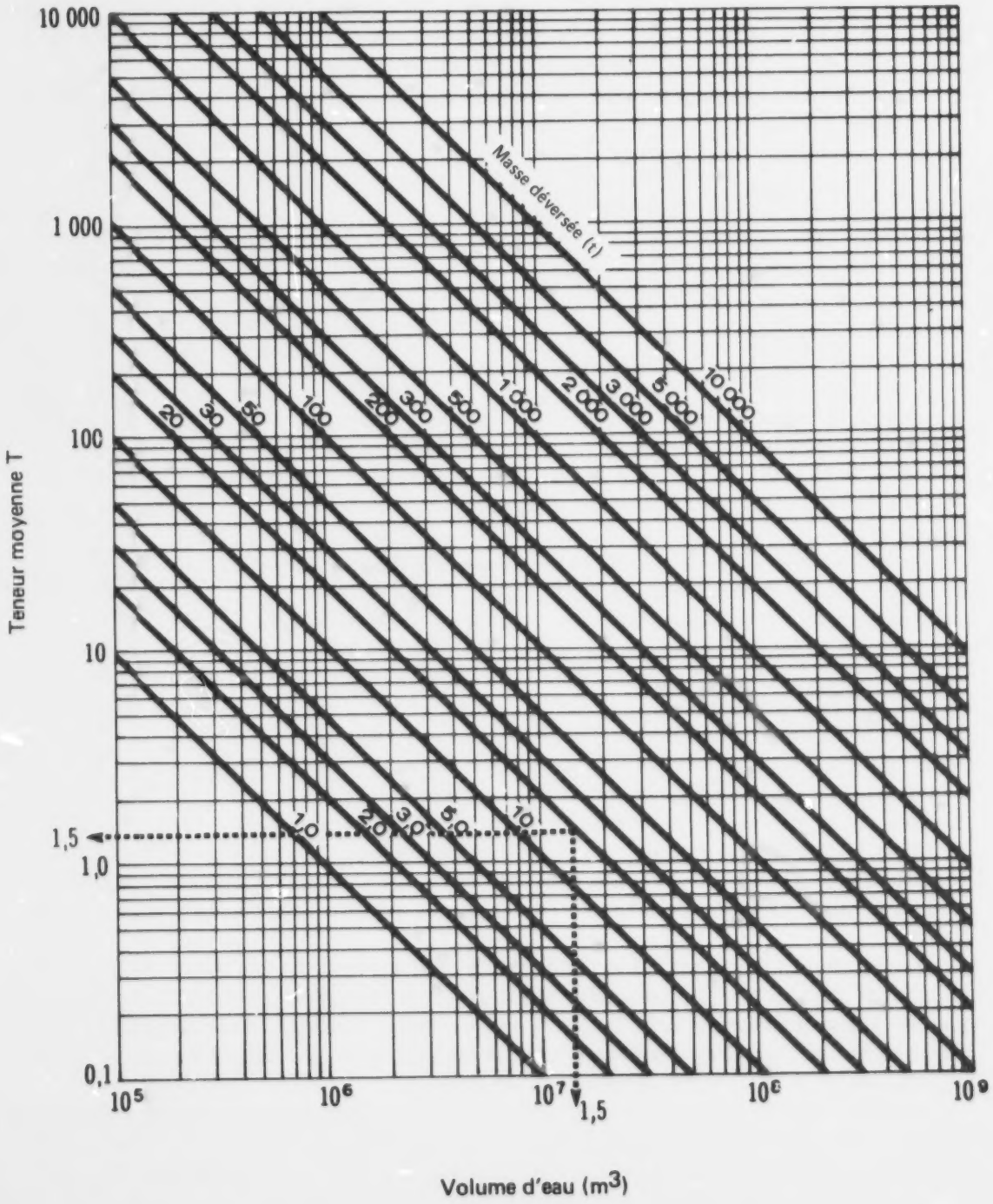


Figure 33

ACIDE CHLORHYDRIQUE — TENEUR MOYENNE EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée s.
$s = L \times h = 50 \times 5 = 250\ m^2$

Étape 8 Déterminer la teneur maximale T au point qui nous intéresse.
Comme $\Delta = 4$ et $s = 250\ m^2$, T = 17 ppm (figure 31)

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos). – Vingt tonnes de chlorure d'hydrogène anhydre ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1 000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point qui nous intéresse, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
h = 5 m; r = 1 000 m: m = 20 tonnes

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme r = 1 000 m et h = 5 m, vol. = $1{,}5 \times 10^7\ m^3$ environ (figure 32)

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. = $1{,}5 \times 10^7\ m^3$ et m = 20 tonnes, T = 1,5 ppm (figure 33)

5.5 Comportement dans la subsurface

5.5.1 Mécanismes. – Les principes du transport des polluants dans le sol et leur application à la migration de l'acide chlorhydrique sont présentés dans le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide. Seuls certains aspects du déversement du chlorure d'hydrogène ou de l'acide chlorhydrique sur le sol et de leur migration dans le sol sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Le point d'ébullition du chlorure d'hydrogène anhydre se situe à -85,05 °C. Aussi, lorsqu'il est déversé sur le sol, il s'évapore en grande partie. C'est pourquoi, seule la migration de l'acide chlorhydrique fait l'objet d'une étude dans les paragraphes qui suivent.

Lorsque la solution aqueuse est déversée sur le sol, elle commence à s'infiltrer dans le sol. Comme l'acide chlorhydrique et l'eau sont miscibles, l'eau, qu'elle soit déjà présente dans le sol ou qu'elle tombe sous forme de précipitation, influe sur la vitesse de migration de la substance dans le sol. La dilution entraîne une diminution plus grande de la viscosité que de la densité (masse volumique); il en résulte une accélération du mouvement descendant de la substance dans le sol. Si le sol de surface est saturé en eau au moment où se produit le déversement, comme cela peut être le cas à la suite d'une précipitation, le produit déversé ruissellera et(ou) s'évaporera.

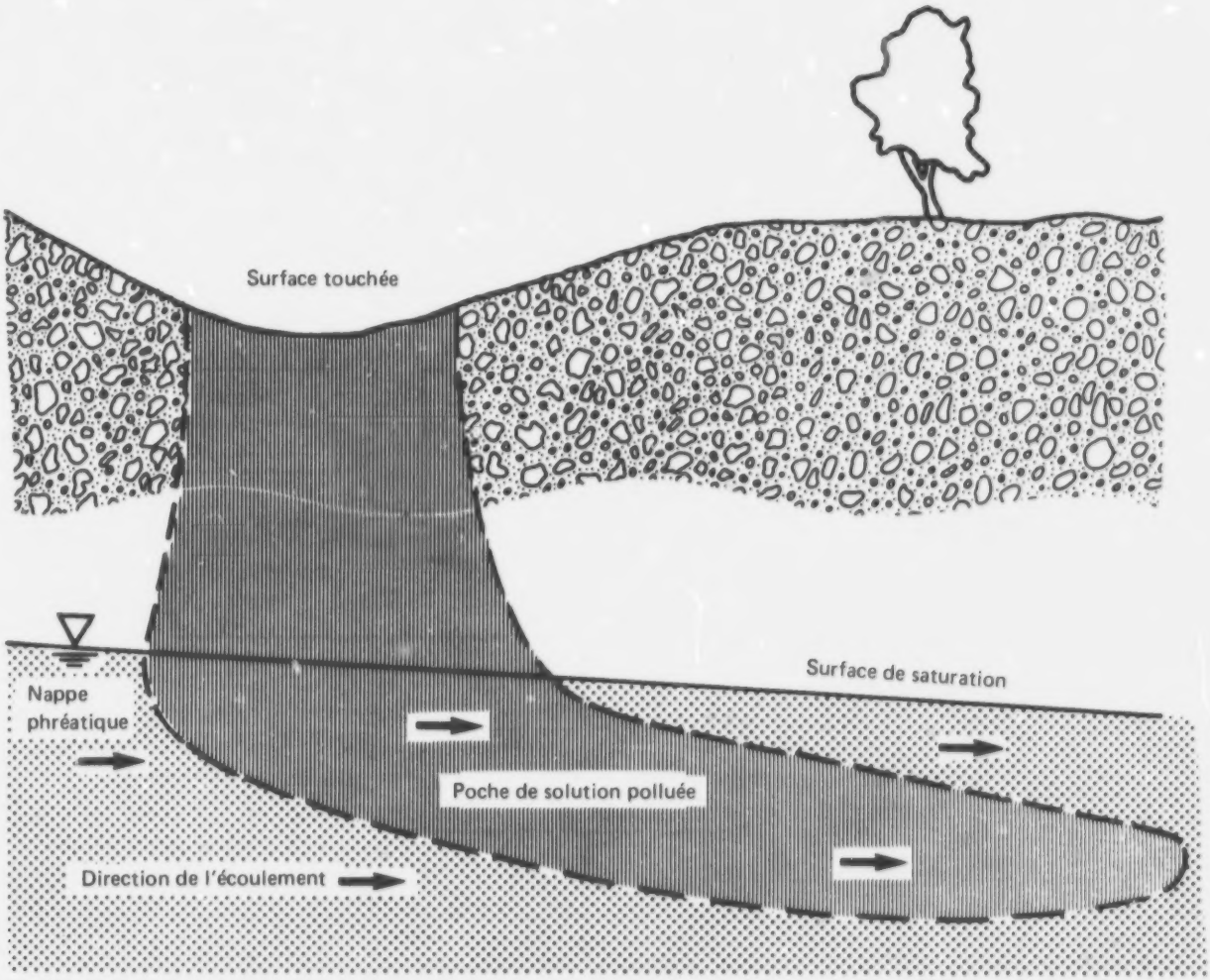
Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant; il s'agit d'un cas typique.

Durant sa migration dans le sol, l'acide chlorhydrique dissout les matériaux constitutifs du sol, surtout ceux à base de carbonates et est en retour neutralisé en partie. Toutefois, une quantité suffisamment importante d'acide devrait continuer de migrer vers la nappe phréatique. L'analyse qui suit ne tient pas compte des facteurs qui pourraient retarder la migration du produit dans le sol. Ceci s'applique surtout à l'ion chlorure.

Lorsque le polluant atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il formera une poche de pollution dont la teneur sera en quelque sorte diminuée par les phénomènes de diffusion et de dispersion (voir la figure 34).

Figure 34

ACIDE CHLORHYDRIQUE — MIGRATION DANS LE SOL

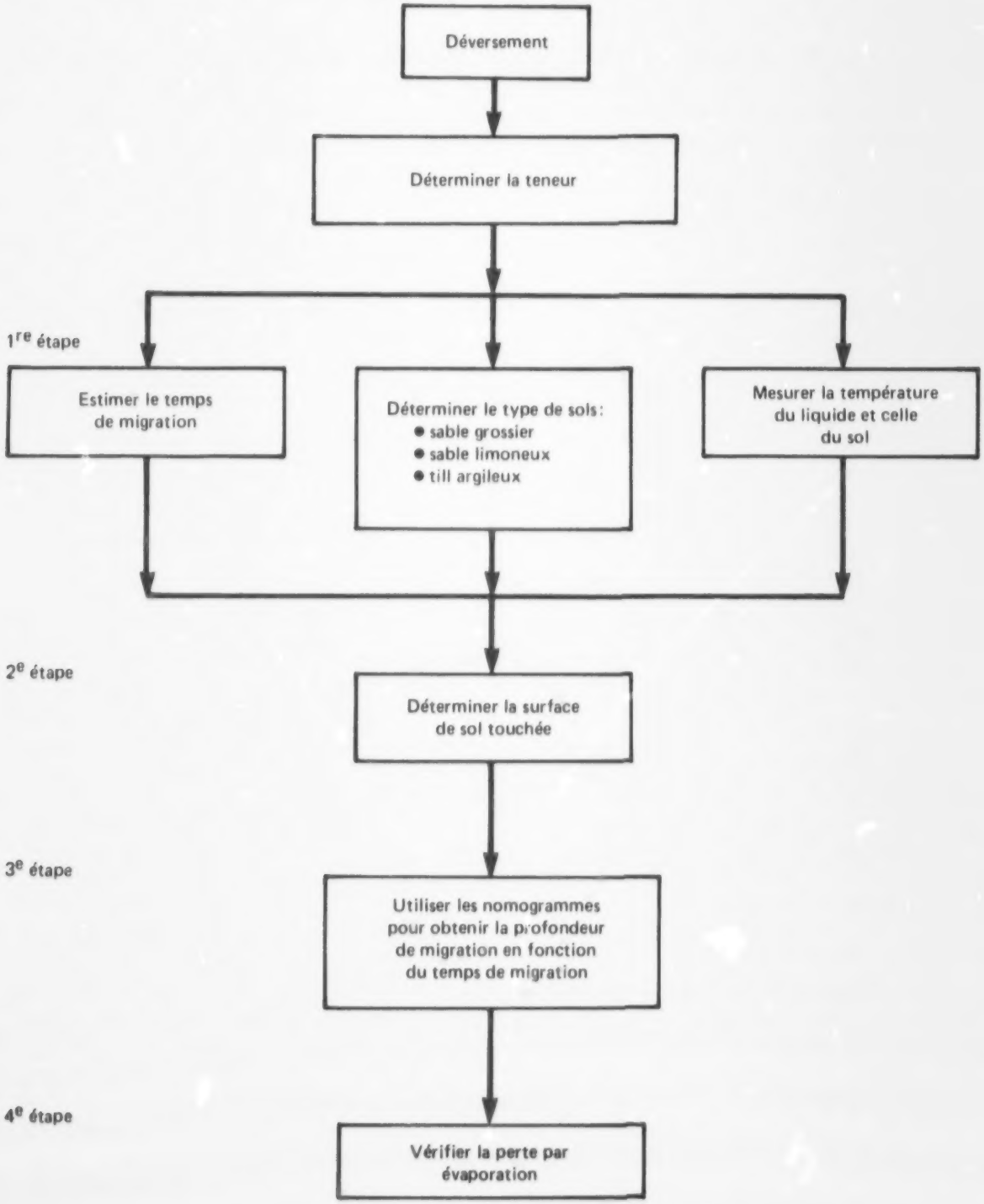


Sol: sable grossier. Porosité = 0,35. Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2. Capacité au champ = 0,075.

Figure 35

ACIDE CHLORHYDRIQUE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES



5.5.2 Migration de l'acide chlorhydrique dans un sol non saturé. – Les équations et les postulats, utilisés pour déterminer la migration du polluant dans un sol non saturé jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide. Les vitesses de migration sont établies à partir de la loi de Darcy, en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc.

5.5.3 Coefficient de perméabilité de l'acide chlorhydrique en sol saturé. – Le coefficient de perméabilité, qui correspond au coefficient k de la loi de Darcy, est un paramètre mesurant la perméabilité d'un milieu continu, en m/s. Il est défini par:

$$k = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide (Pa · s)
g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les deux liquides présents sont l'acide chlorhydrique, en solution à 31,5 p. 100, et l'eau. Les données relatives à l'eau, dans le tableau qui suit, représentent le point extrême de dilution de l'acide chlorhydrique.

	Acide chlorhydrique à 31 p. 100		
Propriétés	20 °C	4 °C	Eau (20 °C)
Masse volumique (kg/m^3)	1150	1160	998
Viscosité absolue (Pa · s)	$2,0 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité (m/s)	$(0,56 \times 10^7)k$	$(0,47 \times 10^7)k$	$(0,98 \times 10^7)k$

5.5.4 Types de sols. – Le *Manuel d'introduction* de la collection Enviroguide décrit les trois types de sols retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous indique les propriétés qui nous intéressent.

	Types de sols	Types de sols	
Propriétés	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de migration. – Des nomogrammes de migration de l'acide chlorhydrique dans la zone non saturée (au-dessus de la surface de saturation) ont été préparés pour les trois types de sol choisis. La profondeur atteinte par le polluant est donnée en fonction du temps de migration. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte

Figure 36

ACIDE CHLORHYDRIQUE

MIGRATION DANS DU SABLE GROSSIER

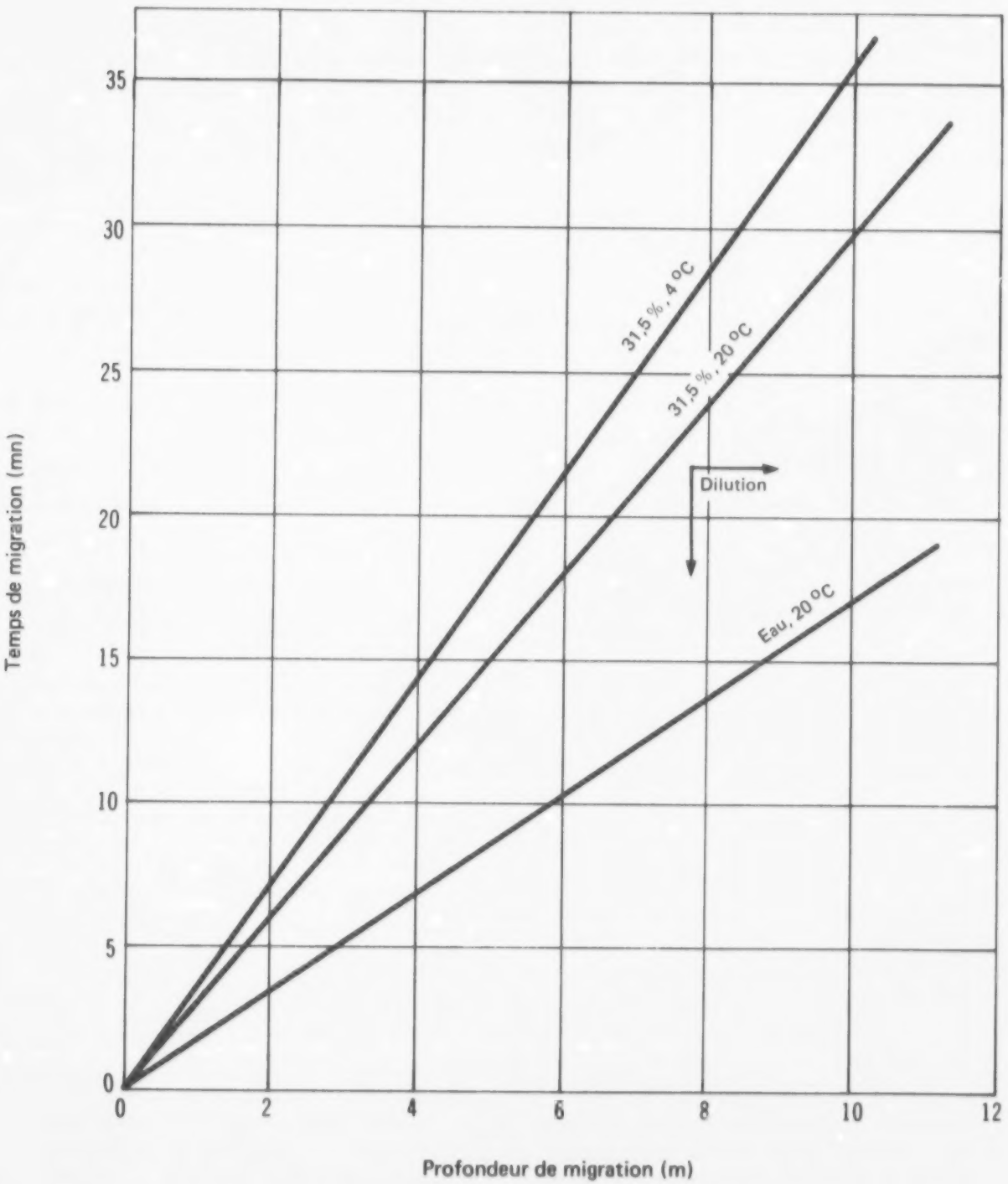


Figure 37

ACIDE CHLORHYDRIQUE

MIGRATION DANS DU SABLE LIMONEUX

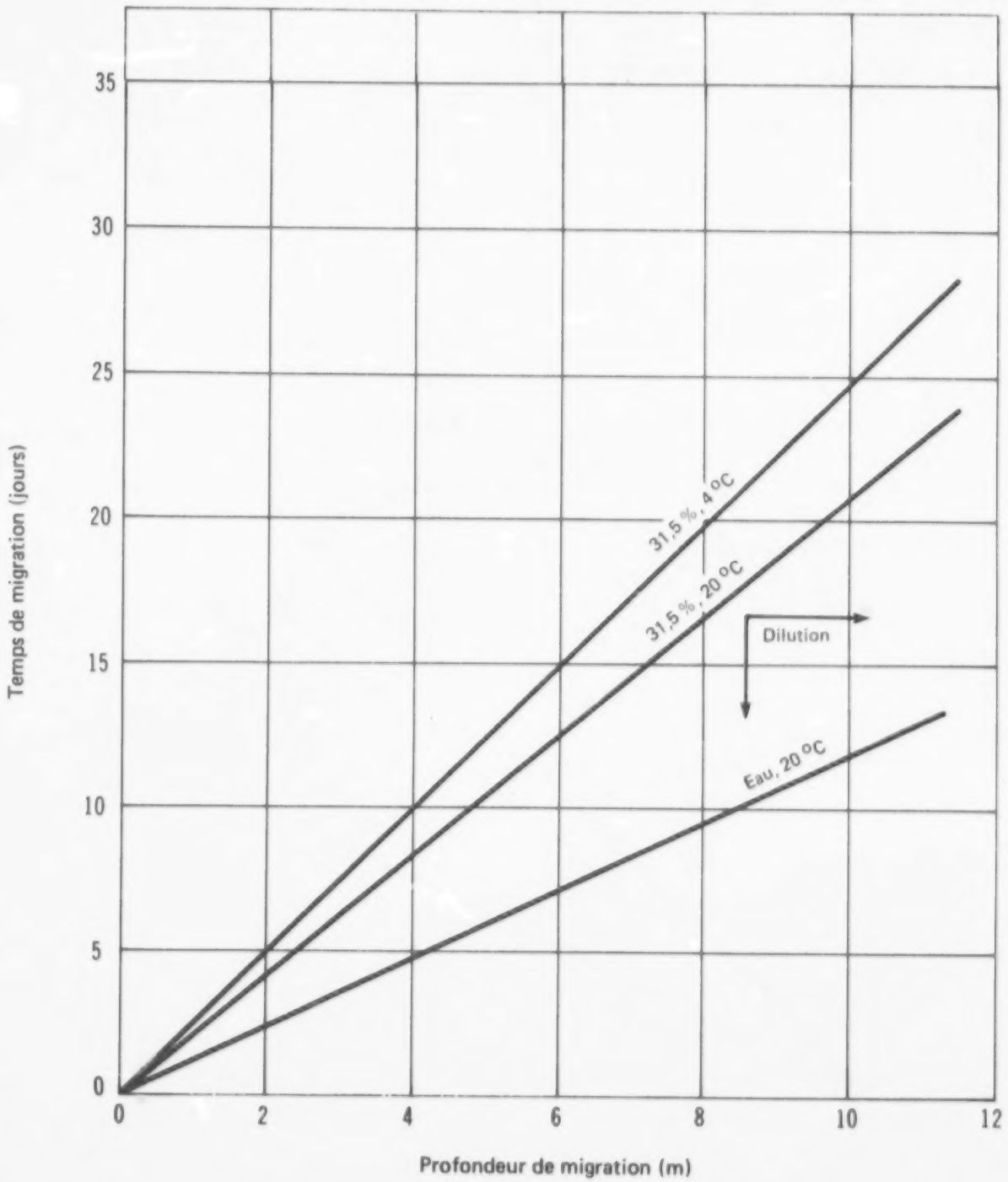
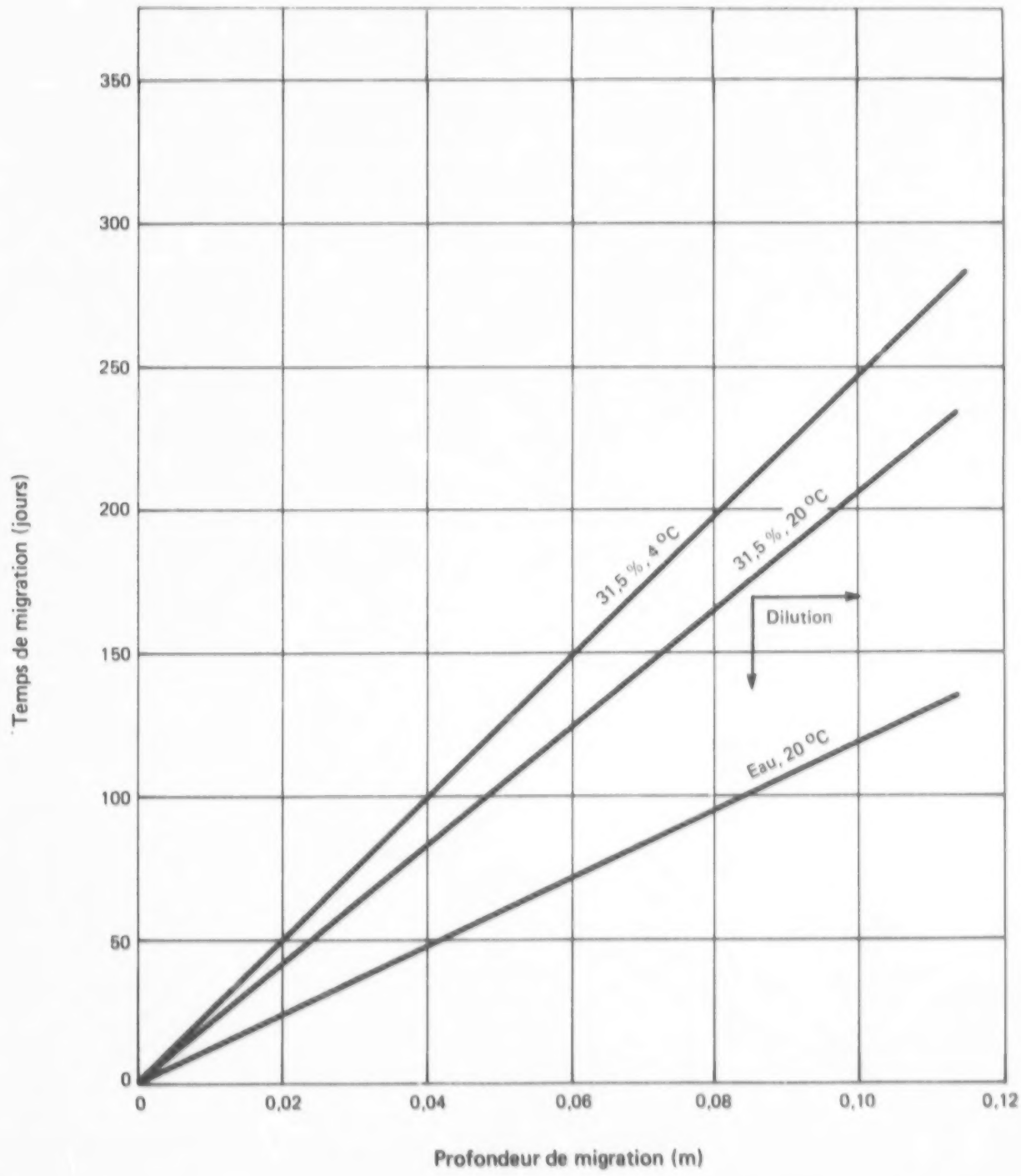


Figure 38

ACIDE CHLORHYDRIQUE — MIGRATION DANS DU TILL ARGILEUX



par le polluant doit être considérée comme maximale pour le temps donné. La figure 35 indique la marche à suivre dans l'utilisation des nomogrammes (figures 36, 37 et 38). La droite représentant la profondeur atteinte par l'eau correspond à la profondeur maximale d'infiltration de l'eau à une température de 20 °C, pour un temps donné. Elle correspond donc à la profondeur maximale de migration du polluant dilué à l'extrême au contact de l'eau.

5.5.6 Exemple de calcul. – Vingt tonnes d'acide chlorhydrique à 31,5 p. 100 ont été déversées sur un sol constitué de sable grossier. Le rayon de la surface polluée est de 8,6 m. La température est de 20 °C. Calculer la profondeur atteinte par le polluant, 25 minutes après le déversement et la quantité perdue par évaporation.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse déversée = 20 000 kg (20 tonnes métriques)
Température = 20 °C
Rayon de la surface polluée = 8,6 m
Type de sol = sable grossier
Profondeur de la surface de saturation = 13 m
Temps écoulé depuis le moment du déversement = 25 mn

Étape 2 Calculer la surface de sol polluée.

Surface = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la profondeur atteinte par le polluant après 25 minutes.

Dans le cas du sable grossier, après 25 mn, la profondeur atteinte est de 8,3 m. Le niveau hydrostatique n'a pas été atteint.

Étape 4 Vérifier la perte par évaporation.

La quantité d'acide chlorhydrique évaporé est négligeable 25 minutes après le déversement.

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales permises

6.1.1 Qualité de l'eau. – On peut percevoir la présence du chlorure d'hydrogène dans l'eau par sa saveur lorsque sa teneur est de 32 mg/l (MHSSW, 1976), malgré que ce seuil varie en fonction du pouvoir tampon de l'eau. L'eau a une saveur acide lorsque son pH est de moins de 3,9 sauf en présence de solutions-tampons (PB 216658). Des teneurs en chlorure d'hydrogène plus élevées que 4000 mg/l sont nuisibles pour le bétail (PB 216658); Todd (1970) et l'OHM-TADS (1981) ont fixé la teneur limite en acide chlorhydrique de l'eau destinée au bétail à 3000 mg/l. La teneur limite pour l'eau d'irrigation a été fixée à 100 mg/l (Todd, 1970; PB 216658).

6.1.2 Qualité de l'air. – Au Canada, la teneur limite en chlorure d'hydrogène de l'atmosphère a été établie à 100 $\mu g/m^3$ (Ontario E.P. Act, 1971).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. – Aucune TLm 96 (tolérance moyenne pour 96 heures) n'a été établie. Une baisse du pH peut s'avérer mortelle pour la vie aquatique (OHM-TADS, 1981). La plupart des poissons peuvent tolérer un pH minimal de 5, et certaines espèces plus résistantes, un pH minimal de 4. Un pH de l'eau inférieur à 5 entraîne la prolifération d'une faune et d'une flore spécialisées (PB 216658).

6.2.2 Mesures de toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Teneur	Durée	Espèce	Résultat	Caractéristiques du milieu	Référence
A. Pour les poissons: essais de létalité aiguë					
3,6 mg/l	48 h	Doré jaune	Létal	Eau distillée	WQC, 1963
3,65 mg/l	24 h	Carpe, ménés, cyprins-sucets	Létal		WQC, 1963
8 mg/l	24 h	Doré jaune	Létal		WQC, 1963
10 mg/l	24 h	Truite	Létal pour 100 p. 100		MHSSW, 1976
60 mg/l à 80 mg/l	24 h	Méné de lac	Survie de 24 h aux teneurs les plus faibles; taux élevé de mortalité aux teneurs les plus élevées	Eau de la rivière Detroit	WQC, 1963
166 mg/l	4 h	Poisson doré	Létal	Eau dure	WQC, 1963
178 mg/l	1 h à 2 h	Poisson doré	Létal		Wilber, 1969
pH de 3 (à l'état de HCl)	80 mn	Épinoche à neuf épines	Létal pour 100 p. 100		OHM-TADS, 1981
pH de 3,6 (à l'état de HCl)	96 h	Doré jaune	TLm	20 °C	OHM-TADS, 1981
pH de 4 (à l'état de HCl)	10,5 h	Épinoche à neuf épines	Létal pour 100 p. 100		OHM-TADS, 1981
pH de 4 (à l'état de HCl)	96 h	Poisson doré	TLm	20 °C	OHM-TADS, 1981

Teneur	Durée	Espèce	Résultat	Caractéristiques du milieu	Référence
pH de 4,6	96 h	Épinoche à neuf épines	TLm, mort après 10,5 h	2 °C	WQCDB-5, 1973
pH de 5 (à l'état de HCl)	9 d	Épinoche à neuf épines	Létal pour 100 p. 100		OHM-TADS, 1981
B. Pour les poissons: essais de toxicité					
0,018 mg/l	6 h	Épinoche à neuf épines	TLm		Klein, 1957
4 mg/l	6 h	Méné	DL50	Eau distillée	WQC, 1963
100 mg/l	6 h	Méné	DL50	Eau dure	WQC, 1963
282 mg/l	96 h	Gambusie	TLm	Étang de ferme; eau trouble	WQCDB-3, 1971
C. Pour les insectes					
Non spécifiée	96 h	Éphéméroptères	Létal	pH de 4,35 à 5,05	WQCDB-5, 1973
Non spécifiée	96 h	Libellules	Létal	pH de 3,18 à 3,35	WQCDB-5, 1973
Non spécifiée	96 h	Perles	Létal	pH de 2,9 à 4,04	WQCDB-5, 1973
Non spécifiée	96 h	Trichoptères	Létal	pH de 3 à 3,35	WQCDB-5, 1973
D. Pour les microorganismes					
56 mg/l	17 h à 72 h	*Daphnia magna*	Survie de 20 p. 100	Eau douce, stagnante	Wilber, 1969
62 mg/l	non spécifiée	*Daphnia magna*	Immobilisation	Eau du lac Érié, 25 °C	Klein, 1957
65 mg/l	1 h à 4 h	*Daphnia magna*	Temps de survie	Eau douce	Wilber, 1969

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques du milieu	Référence
Pour les invertébrés					
100-330	48	Crevette	TL50	Aéré	Portman, 1970
100-330	48	Étoile de mer	TL50	Aéré	Portman, 1970
100-330	48	Souris de mer	TL50	Aéré	Portman, 1970
240	48	Crabe enragé	TL50	Aéré	WQCDB-5, 1973
260	48	Crevette grise	TL50	Aéré	WQCDB-5, 1973
330-1000	48	Coque	TL50	Aéré	Portman, 1970

6.3 Toxicité pour d'autres espèces vivantes

6.3.1 Toxicité pour le bétail. – L'acide chlorhydrique est extrêmement corrosif pour les tissus vivants d'un animal; toutefois il est rare que l'acide chlorhydrique ou d'autres acides forts soient mortels (Clarke, 1975). Une teneur plafond en acide chlorhydrique de 1500 mg/l a été

suggérée pour le bétail (Todd, 1970), ce qui est bien en dessous de la dose considérée nuisible (4000 mg/l).

6.3.2 Toxicité pour les végétaux. – Les plantes peuvent être exposées à du chlorure d'hydrogène sous la forme de vapeurs, d'aérosols, de liquide ou de solution aqueuse. Une exposition à du chlorure d'hydrogène liquéfié serait très localisée et probablement létale pour la plupart sinon toutes les plantes atteintes. À cause de la nature hygroscopique du gaz anhydre, les vapeurs dégagées par un conteneur endommagé ou par une mare du produit liquide déversé se transforment en aérosols au fur et à mesure qu'elles se combinent à l'humidité de l'atmosphère. L'importance des dégâts varie en fonction de la teneur et des conditions atmosphériques; l'aire touchée peut être étendue à cause de la dispersion et du déplacement du nuage de vapeurs et d'aérosols sous l'action du vent. Le déversement accidentel d'hydrogène aqueux (acide chlorhydrique) sur le sol formera une nappe dont l'étalement demeurera assez limité, alors que les aérosols dégagés auront un rayon d'action beaucoup plus étendu. Les dommages aux plantes proviendront du contact de l'acide aqueux et des aérosols. Les commentaires sur la nature des dommages causés aux plantes par le chlorure d'hydrogène proviennent de trois sources dont la plus documentée consiste en un recueil d'études sur la fumigation employant du chlorure d'hydrogène à l'état gazeux à différentes doses, dans des conditions d'humidité atmosphérique et à des températures variées.

En général, il existe peu d'études détaillées des effets sur les plantes du chlorure d'hydrogène à l'état gazeux. Il est évident, cependant, que même de faibles teneurs sont extrêmement nuisibles pour les végétaux. Plusieurs conclusions tirées d'anciens travaux n'ont plus aucune valeur, surtout celles portant sur les réactions à des doses données, à cause de méthodes inadéquates de fumigation. Les observations sur le terrain sont probablement encore valables. Il est certain que les plantes réagissent différemment à un gaz et à un aérosol; aussi, il est aussi important de savoir sous quelle forme le chlorure d'hydrogène rentre en contact avec la plante que de connaître le degré d'exposition. Des travaux plus récents ont montré que des effets chroniques apparaissent à une dose de 0,40 ppm, et des effets aigus, à une dose de quelques parties par million (~ 1 ppm à 20 ppm), selon l'espèce. L'humidité relative paraît être le facteur décisif en ce qui a trait à la réaction de la plante. Il semble exister un seuil d'humidité relative au-delà duquel les dommages aux plantes doublent à une dose donnée. Le chlorure d'hydrogène, à l'état gazeux, pénètre dans la plante par les stomates et s'accumule à l'état de chlorures dans ses parties foliaires. Toutefois, on ne sait pas si les dommages proviennent de l'acidité du gaz, de la toxicité du chlorure ou des deux facteurs.

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Date de l'étude	Référence
A. Expériences avec du gaz de chlorure d'hydrogène: toxicité aiguë					
Vapeurs dégagées de HCl (aqueux) sans circulation d'air		Espèces à larges feuilles (Rosier, Gadelier odorant, Hêtre à grandes feuilles, Bouleau, Érable, Chêne, Pommier, Poirier, Cerisier)	Décoloration du bord des feuilles et taches sur la partie centrale des feuilles	1903 et avant	NAS, 1976

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Date de l'étude	Référence
Vapeurs dégagées de HCl (aqueux) sans circulation d'air		Espèces sténophylles (cultures céréalières, pâturin)	Brunissement du bout et du bord des feuilles; des teneurs élevées ont fait brunir et ramollir les feuilles	1903 et avant	NAS, 1976
Vapeurs dégagées de HCl (aqueux) sans circulation d'air		Conifères (Mélèze, Épinette, Sapin, Pin)	Décoloration du bout des aiguilles (jaunissement et brunissement), endommagement des fleurs	1903 et avant	NAS, 1976
		Bégonias	Coloration brun-orange du bord des feuilles, tombée prématurée des feuilles, taches nécrotiques sur les feuilles	1968-1969	NAS, 1976
		Espèces à bois dur du Nord	Mouchetures chlorotiques des feuilles de cime, taches nécrotiques brun rougeâtre à noir sur les feuilles	1968-1969	NAS, 1976
		Conifères	Mouchetures nécrotiques brunes et distorsion des feuilles, tuilage des feuilles larges	1968-1969	NAS, 1976
B. Expériences effectuées à 27 °C, à 78 p. 100 - 85 p. 100 d'humidité relative et à 1,4 x 10^4 crg/cm^2 · s d'intensité de l'éclairage					
		CONIFÈRES			
8	4	Pin blanc	Nécrose de la pointe des feuilles	1969	NAS, 1976
12	4	Sapin de Douglas	Nécrose de la pointe des aiguilles	1969	NAS, 1976
18	4	Pin d'Autriche	Aucun dommage	1969	NAS, 1976
19	4	Épinette de Norvège	Nécrose de la pointe des aiguilles	1969	NAS, 1976
43	4	Thuya	Aucun dommage	1969	NAS, 1976
		FEUILLUS			
3	4	Bois jaune	Nécroses et mouchetures nécrotiques du bord et des nervures des feuilles	1969	NAS, 1976
6	4	Verne, Cerisier d'automne	Nécroses et mouchetures nécrotiques du bord et des nervures des feuilles	1969	NAS, 1976
7	4	Érable à sucre, Érable de Norvège	Nécroses et mouchetures nécrotiques du bord et des nervures des feuilles	1969	NAS, 1976
Jusqu'à 13	4	Chêne rouge	Aucun dommage	1969	NAS, 1976

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions du milieu	Date de l'étude	Référence
C. Expériences effectuées dans des conditions diverses						
		ESPÈCES À LARGES FEUILLES				
2-5	2-3	Tomates (Bonny Best)	Aucune lésion visible	30 °C-31 °C, hum. rel. de 55 p. 100 à 60 p. 100	1969	NAS, 1976
~ 2,6	2	Haricots (Pinto III)	Teneur seuil dommageable		1972	NAS, 1976
2,7	2 ou 3	Chrysanthèmes (Neptune)	Aucune lésion	30 °C, hum. rel. de 60 p. 100	1969	NAS, 1976
3	2	Tomates (Bonny Best)	Glaçage de l'envers des feuilles, brûlure de la pointe des feuilles et mouchetures nécrotiques	31 °C-33 °C, hum. rel. de 65 p. 100 à 72 p. 100	1969	NAS, 1976
3,5	3	Chrysanthèmes (Neptune)	Nécrose du bord des feuilles	31 °C, hum. rel. de 65 p. 100	1969	NAS, 1976
4	2	Tomates (Bonny Best)	Brunissure grave	30 °C, hum. rel. de 70 p. 100	1969	NAS, 1976
5	2	Tomates (Bonny Best)	Nécrose du bord des feuilles, lésions au pétiole	33 °C, hum. rel. de 81 p. 100	1969	NAS, 1976
6	5	Chrysanthèmes (Neptune)	Glaçage de l'envers des feuilles, brûlure de la pointe des feuilles, mouchetures nécrotiques	Hum. rel. de 60 p. 100	1969	NAS, 1976
8	3	Tomates (Bonny Best)	Glaçage de l'envers des feuilles, brûlure de la pointe des feuilles, mouchetures nécrotiques	31 °C-33 °C, hum. rel. de 35 p. 100	1969	NAS, 1976
8-10	–	Tomates (Bonny Best)	Photosynthèse réduite à 90 p. 100 par rapport aux plantes témoins, aucune lésion	Hum. rel. ⩽ 40 p. 100	1970	NAS, 1976
8-10	2	Tomates (Bonny Best)	Aucun symptôme, détection d'une stimulation de la respiration de 20 p. 100 à 30 p. 100	Hum. rel. de 40 p. 100 à 50 p. 100	1970	NAS, 1976
8-23	2	Chrysanthèmes (Neptune)	Brunissure grave	30 °C-31 °C, hum. rel. de 65 p. 100 à 70 p. 100	1969	NAS, 1976
8-23	4	Chrysanthèmes (Neptune)	Brunissure grave	30 °C-31 °C, hum. rel. de 65 p. 100 à 70 p. 100	1969	NAS, 1976
8,5	3	Chrysanthèmes (Neptune)	Lésion au pétiole	31 °C, hum. rel. de 45 p. 100	1969	NAS, 1976
8,5	3	Tomates (Bonny Best)	Aucune lésion	30 °C-31 °C, hum. rel. de 23 p. 100	1969	NAS, 1976
10	2	Tomates (Bonny Best)	Brunissure grave	31 °C, hum. rel. de 50 p. 100	1969	NAS, 1976

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions du milieu	Date de l'étude	Référence
10	2	Tomates (Bonny Best)	Nécrose du bord des feuilles, lésions au pétiole	31 °C, hum. rel. de 55 p. 100	1969	NAS, 1976
12	2	Chrysanthèmes (Neptune)	Vitrification de l'envers des feuilles, brûlure de la pointe des feuilles, mouchetures nécrotiques	Hum. rel. de 52 p. 100	1969	NAS. 1976
D. Expériences effectuées avec du gaz de chlorure d'hydrogène: exposition chronique						
0,40	8 h/d pendant 6 jours	Tomates (Bonny Best)	Aucun dommage visible aux plantes de serre durant l'hiver; apparition d'une chlorose des plantes de serre en mai et juin après les 3e et 4e fumigations consécutives		1970	NAS, 1976
0,70	10 h/d pendant 2 jours	Tomates (Bonny Best)	Chlorose internervalle des feuilles jaunes et de maturité intermédiaire, diminution de la chlorophylle et de la phéophytine, faible réduction de la transpiration, rythme respiratoire inchangé		1970 1970	NAS, 1976 NAS, 1976
E. Expériences effectuées avec de l'acide chlorhydrique						
		Plantes aquatiques, haricots, pommiers à feuilles de prunier, hêtres pourpres	Conclusions: inhibition de l'assimilation par l'acide chlorhydrique	Plantes saucées dans du HCl aqueux et du CO_2 et bulles produites dénombrées	1903	NAS, 1976

6.3.2.1 Études sur les cultures

Teneur (mg/m^3)	Durée (mn)	Espèce	Résultat	Référence
Non spécifiée (état gazeux)	20	Graines de tomate et d'orge	Germination légèrement ralentie; arrêt de la croissance des semis	Granett, 1981
6	20	Haricots (Pinto), semis de 8 jours	Lésions sur 15 p. 100 des feuilles	Endress et Taylor, 1979
6-54,2	20	Haricots (Pinto), semis de 8 à 22 jours	Accumulation de Cl^-; les plants de 12 jours ont moins accumulé de Cl^-	Endress, 1979

Teneur (mg/m^3)	Durée (mn)	Espèce	Résultat	Référence
13-27	20	Radis, haricots (Pinto)	Lésions plus importantes à des températures plus élevées et à un plus grand éclairement	Granett, 1981
27,3	20	Tagète	Lésions sur les feuilles	Endress, 1981
29,7	Non spécifiée	Maïs	Nécrose d'approximativement 50 p. 100 de la feuille	
30,4	20	Épinards	Lésions sur les feuilles	Endress, 1981
41,3	20	Haricots (Pinto), semis de 8 jours	Lésions sur 100 p. 100 des feuilles	Endress et Taylor, 1979
59,5	Non spécifiée	Maïs	Diminution de la croissance	Lind, 1979

6.3.2.2 Études sur les végétaux. – Certains commentaires et conclusions provenant de différents rapports sont présentés dans les paragraphes qui suivent. Toutes les données sont tirées de la NAS (1976) à moins d'indication contraire. Les plus anciens travaux (dont la validité est mise en question à cause des conditions inadéquates d'expérimentation comme le manque de circulation d'air) laissaient entendre que les dommages à la végétation causés par les fumées contenant de l'acide chlorhydrique sur la terre ou sous l'action de ses produits de réaction dans le sol sont improbables. Les dommages étaient attribués à l'action du produit au-dessus du sol. Dans le cas de bégonias, les dommages ressemblaient à ceux causés par le fluorure d'hydrogène et le dioxyde de soufre. Les essais effectués en 1969 ont montré que la tomate Bonny Best était plus sensible aux effets du chlorure d'hydrogène gazeux que le chrysanthème Neptune. De plus, on a conclu à la suite de ces essais que l'action du gaz de chlorure d'hydrogène sur la chlorophylle de la tomate Bonny Best n'est pas seulement le fait des propriétés acides du gaz.

Plusieurs études ont été effectuées sur la morphologie, l'histologie, les facteurs qui influencent la réaction des plantes, la sensibilité des plantes, l'accumulation d'un polluant dans une plante et sur la similarité de certains symptômes. Les résultats de ces études sont présentés ci-après:

MORPHOLOGIE (FORME ET STRUCTURE) DES LÉSIONS INFLIGÉES PAR LE CHLORURE D'HYDROGÈNE

Seigle	Feuilles ramollies fortement blanchies et ratatinées, dépôts de tanin visibles dans certaines cellules à proximité des faisceaux fibrovasculaires.
Feuilles des pois	Grains de chlorophylle enflés et obstruction des cellules par des dépôts de tanin.
Roses	Dépôts de tanin plus importants que sur les feuilles de pois.
Pin du Montana	Décoloration légère des aiguilles, progression du brunissement et de l'assèchement à partir de la pointe.
Épinette	Rougissement des cellules de garde.

HISTOLOGIE (TISSUS) DES LÉSIONS INFLIGÉES PAR LE CHLORURE D'HYDROGÈNE

Tomate	Vitrification de l'envers de la feuille résultant de l'effondrement des cellules épidermiques inférieures.

Tomate et chrysanthème

Brunissure semblant résulter de l'effondrement de l'épiderme inférieur, du mésophylle spongieux et parfois du mésophylle palissadique et de l'épiderme supérieur. On a conclu que le gaz pénétrait dans la plante par les stomates parce que les tissus à proximité de ces derniers étaient toujours endommagés les premiers. Les lésions substomatales ressemblent beaucoup à la déshydratation des cellules qui tapissent les cavités substomatales du pâturin annuel endommagé par le smog. Le symptôme de brunissure ressemble fortement aux tavelures produites par le fluorure d'hydrogène sur les abricots et par le dioxyde de soufre sur les haricots Pinto.

La progression de l'endommagement des tissus de la tomate après pénétration du gaz par les stomates semble s'effectuer comme suit: 1° effondrement des cellules de l'épiderme inférieur adjacentes, 2° désorganisation et effondrement du mésophylle spongieux, 3° effondrement possible du mésophylle palissadique dépendant de l'importance des dommages, 4° effondrement de l'épiderme supérieur.

On est arrivé à la conclusion que l'effondrement des tissus du chrysanthème n'est pas aussi important que celui de la tomate à cause de la plus grande épaisseur de ses parois cellulaires.

FACTEURS INFLUENÇANT LA RÉACTION DES PLANTES (tomate et chrysanthème) AU CHLORURE D'HYDROGÈNE GAZEUX

Dose (teneur et durée de la fumigation).

Fréquence relative et abondance des stomates.

Humidité relative. – Facteur le plus important dans l'apparition des symptômes; le seuil au-dessus duquel les dommages sont importants et sous lequel les dommages sont minimes pour une dose donnée est le suivant: lorsque l'humidité relative dépasse 80 p. 100, les dommages sont typiques de ceux causés par un acide (petites mouchetures sur les feuilles exposées); lorsque l'humidité relative est de moins de 80 p. 100, les dommages sont typiques de ceux causés par un gaz.

Épaisseur des parois cellulaires. – Facteur qui semble influer sur la gravité des symptômes.

Espace intracellulaire. – Comme le facteur précédent, il semble influencer la gravité des symptômes.

Âge des tissus. – Ce facteur influe sur l'apparition des symptômes relatifs à la dose de chlorure absorbée par la plante.

SENSIBILITÉ DES PLANTES AU CHLORURE D'HYDROGÈNE GAZEUX

Les feuillus sont en général plus sensibles que les conifères.

ACCUMULATION DE CHLORURE DANS LES PLANTES EXPOSÉES À DU CHLORURE D'HYDROGÈNE GAZEUX

Accumulation importante de chlorure dans toutes les parties des plantes de tomates.

Les tissus en pleine croissance semblent tolérer mieux le chlorure que les tissus plus vieux.

SIMILARITÉ DE CERTAINS SYMPTÔMES DES PLANTES EXPOSÉES AU CHLORURE D'HYDROGÈNE GAZEUX

Vitrification. – Rapportée pour la première fois à la suite de l'action du nitroperoxyde d'acétyle.

Flétrissement du bord des feuilles. – Ressemble à celui causé par le sel répandu sur les routes.

6.3.3 Toxicité pour les oiseaux. – Une exposition quotidienne de pigeons à une teneur en vapeurs de chlorure d'hydrogène de 150 mg/m^3 six heures par jour pendant 50 jours a suscité un comportement agité et causé une irritation des yeux et des voies nasales; le taux d'hémoglobine n'a que faiblement diminué (Patty, 1981).

6.4 Études sur les effets toxiques

6.4.1 Bactéries. – Le chlorure d'hydrogène gazeux en présence d'aérosols rend rapidement inactives les spores bactériennes des *Bacillus subtilis* en les faisant s'affaisser (Lelieveld, 1980). À la température ambiante et sous une pression de 4 kPa (pression du HCl au-dessus de la pression atmosphérique), la viabilité des spores de *Bacillus subtilis* a diminué d'un facteur de 100 000 en dix secondes (Lelieveld et Van Eijk, 1979).

6.4.2 Effets du pH. – La toxicité de l'eau pour la vie aquatique se mesure à l'aide du pH ou de la teneur en hydronium (H_3O^+) de l'eau. Lorsque le pH de l'eau descend rapidement (la teneur en hydronium augmente), comme c'est le cas lors d'un déversement accidentel d'une grande quantité de chlorure d'hydrogène (à l'état liquide ou en solution aqueuse) dans l'eau, les poissons meurent. L'importance des dommages dépend de la quantité déversée, du pouvoir tampon de l'eau, et de la vitesse de dilution résultant du débit du cours d'eau. Il s'est fait de nombreuses recherches sur les dépôts d'acide au fond de l'eau et sur leurs répercussions sur l'eau, en particulier celle des lacs. Les acides habituellement associés aux dépôts d'acide sont l'acide sulfurique et l'acide nitrique; toutefois, les données sur le pH ne peuvent servir pour l'acide chlorhydrique. En général, une eau dont le pH est inférieur à 5 est létale pour la plupart des poissons (MHSSW, 1976), quoiqu'elle puisse convenir à une flore et à une faune spécialisés (WQC, 1963). Le tableau qui suit résume les effets généraux du pH; les réactions spécifiques à des pH faibles sont décrites à la section 6.4.2.2. Ces dernières données proviennent d'études sur les effets à long terme d'une acidification graduelle de l'eau. Toutes ces données peuvent aider le lecteur à comprendre le processus de dégradation du milieu aquatique causé par un déversement de chlorure d'hydrogène dans l'eau.

6.4.2.1 Résumé des effets du pH (WQC, 1972)

pH	Effet
5,5-6,0	Survie de la truite mouchetée
	Absence de la truite arc-en-ciel
	Freinement de la croissance de la carpe
	Diminution du frai
	Rareté des mollusques
5,0-5,5	Populations de poissons réduites; non létal pour les adultes
	pH létal pour les oeufs ou les larves et quelques invertébrés
	Prolifération des algues et des végétaux supérieurs
4,5-5,0	Pêche commerciale impossible
	Probablement létal pour les oeufs et les alevins
	Nocif pour la carpe
	Létal pour certains invertébrés

pH	Effet
4,0-4,5	Survie de quelques espèces de poissons Seul le brochet peut se reproduire
3,5-4,0	Appauvrissement important de la faune et de la flore
3,0-3,5	Survie de plus de quelques heures d'un poisson improbable

6.4.2.2 Réactions physiologiques à un pH faible. – La tolérance de plusieurs espèces de poissons à un pH faible fait l'objet du tableau qui suit (NRCC, 1981). Par exemple, l'omble de fontaine semble avoir une tolérance élevée à l'acide, et selon certaines études «restreintes», cette tolérance est héréditaire.

pH	Espèce	Effet
7	Dard-perche	Éclosion de 50 p. 100 des oeufs
7,0	Saumon de l'Atlantique	Éclosion des oeufs retardée de 7 jours
7,0-5,0	*Cyprinodon nevadensis*	Diminution de la ponte
6,8	Brochet, frai	Nouveaux-nés, 17 p. 100 de mortalité
6,6	Tête-de-boule	Sans danger pour une exposition continue; peut nuire toutefois aux fonctions vitales (survie de l'embryon)
6,5	*Cyprinodon nevadensis*	Survie des oeufs de 50 p. 100 par rapport à ceux de poissons témoins
6,5 à 5,6	Tête-de-boule	Disparition de l'espèce dans le lac acidifié
< 6,5	Omble de fontaine, oeufs	Éclosion et croissance réduites
6 et 9	Truite arc-en-ciel	Consommation d'oxygène plus élevée qu'à un pH de 7
5,9	Tête-de-boule, oeufs	Éclosion et croissance réduites
5,52 à 5 °C	Truite arc-en-ciel, embryons	pH létal moyen
< 5,5	Bar-perche	Éclosion des oeufs réduite
Jusqu'à 5,2	Tête-de-boule	Comportement anormal, difformités
< 5,2	Omble de fontaine, jeunes poissons	Dérèglements tissulaires et cellulaires incluant l'hypertrophie des cellules des muqueuses des branchies, des narines et de la peau; augmentation de la sécrétion des muqueuses et nécrose de l'épithélium des branchies, de la cornée et de la peau
5,0-5,5	Saumon de l'Atlantique, oeufs	pH critique
5	*Orizias Latipes*	Activité enzymatique à 15 p. 100
5,0	Brochet, frai	Mortalité de 26 p. 100 des nouveaux-nés
5,0	Catostome noir commun, oeufs	Incubés à un pH de 4,5, ont un taux réduit de survie et des difformités
5,0	*Cyprinodon nevadensis*	Arrêt de la ponte
5,0	Omble de fontaine, oeufs	Diminution importante du nombre d'oeufs viables
4,75-6,0	Omble de fontaine	Diminution du niveau de sodium plasmatique et du chlorure
4,75 à 10 °C	Truite arc-en-ciel, embryons	pH létal moyen
4,6-8,0	Omble de fontaine	Survie de 76 p. 100 à 91 p. 100 des poissons

pH	Espèce	Effets
4,5-5,0	Bar-perche	Éclosion des oeufs retardée de 5 à 10 jours, larves malformées
4,5-5,0	Omble arctique, oeufs	pH critique
4,5-4,8	Omble de fontaine	Limite inférieure de tolérance
4,5	Bar-perche, oeufs	Éclosion sporadique
4,5	Saumon de l'Atlantique, oeufs	Éclosion retardée de 15 jours
4,5	Truite brune, oeufs	pH critique
4,2	Brochet, frai	97 p. 100 de mortalité chez les nouveaux-nés
4,2	Tête-de-boule	Survie
4,1	*Orizias latipes*, alevins	Éclosion incomplète d'un grand nombre d'oeufs après une incubation à un pH de 4,1
4,0-4,5	Omble de fontaine, frai	Évite l'eau dont le pH est à ce niveau
~ 4,0	Saumon de l'Atlantique, alevins	Teneur létale minimale au début de la segmentation de l'oeuf
4	Dard-perche, oeufs	Éclosion de 4 p. 100 des oeufs
4	Truite (sans autre identification)	Diminution du taux de sodium et de chlorure plasmatiques (rivière dans le sud de la Norvège)
4,0	Omble de fontaine	Inhibition de la synthèse de l'acide ribonucléique dans les tissus intrarénaux
4,0	Saumon de l'Atlantique, oeufs	Pas d'éclosion
	Truite arc-en-ciel	Baisse graduelle importante du pH et du CO_2 total dans le sang
3,9	Saumon de l'Atlantique, embryons	Teneur létale moyenne
3,86-4,49	Truite arc-en-ciel, jeunes poissons de près d'un an	pH létal moyen relié à la température de l'eau
~ 3,6	Saumon de l'Atlantique, embryons	Teneur létale minimale
3,0-4,9	Omble de fontaine	Perte de sodium par l'arrêt de l'afflux de sodium et par l'augmentation de l'élimination du sodium de l'organisme; cette perte n'est pas considérée comme mortelle
3,0-4,9	Poisson doré	Mêmes effets que pour l'omble de fontaine au même pH
3,0-3,5	Omble de fontaine	Baisse du pH dans le sang et perte de 50 p. 100 du sodium corporel
~ 3,0	Saumon de l'Atlantique, embryons plus vieux	Teneur létale minimale au début de la segmentation des oeufs
2,5-3,25	Omble de fontaine	Survie directement liée à la taille du poisson et inversement reliée à la température
Faible pH pendant 4 jours	Omble de fontaine	Pression réduite de l'oxygène dans les veines

pH	Espèce	Effets
Gamme de pH et de teneurs en électrolytes	Truite brune	Grande perméabilité des membranes des branchies à l'ion hydrogène montrée par des mesures de la conductance électrique aux branches; à un faible pH, un potentiel positif appliqué aux branchies a résulté en une plus grande perte de sodium.

Le tableau qui précède fournit de nombreuses données sur la période qui suit immédiatement la naissance des poissons. Les oeufs de poissons osseux mis à l'eau absorbent rapidement de l'eau dans l'espace périvitellin entre les membranes ooplasmiques et extérieures. Ce processus est connu sous le nom de durcissement et s'accompagne d'une augmentation de la résistance des oeufs aux dommages mécaniques. Les oeufs déposés en eau acide absorbent des ions hydrogènes même lorsqu'ils ont durci. Les effets les plus apparents sont le retard de l'éclosion des oeufs et la diminution de la survie du frai. La période qui suit immédiatement l'éclosion des oeufs est pour les poissons celle où ils sont le plus vulnérables à l'action de l'acid. L'acclimatation des embryons ou des larves à l'acidité de l'eau semble très douteuse, à l'exception de celle de l'omble de fontaine.

6.5 Devenir et effets à long terme

Plusieurs études ont été effectuées sur les effets du pH sur les systèmes aquatiques à la suite de dépôts acides. Ces effets à long terme (chroniques), même s'ils n'ont parfois aucun lien avec les effets aigus enregistrés lors d'un déversement accidentel, font l'objet d'une discussion dans le présent manuel parce que leur étude peut faciliter la compréhension des effets du pH. L'augmentation de la teneur en hydrogène d'un système aquatique peut à long terme influer sur la géochimie et la biologie du système. La dynamique de l'écoulement de l'eau dans le cycle hydrologique influence la nature et l'importance des réactions géochimiques et biologiques. Le temps nécessaire à ces réactions dépend en particulier du régime de l'écoulement de l'eau qui détermine le contact et le temps de résidence des matériaux. Les aspects géochimiques de l'action des ions hydrogène sur les composants de surface du système comprennent à la fois les réactions d'échange ionique et de dissolution des minéraux. Les interactions additionnelles importantes comprennent celles avec les éléments lithologiques comme Al^{+3}, Fe^{+3}, Mn^{+2} et certains métaux à l'état de traces. Les ions hydrogène peuvent également modifier les processus du cycle biologique. La vulnérabilité des écosystèmes aquatiques à l'acidification par l'introduction d'ions hydrogènes dépend du facteur de saturation naturel du pouvoir d'échange ionique total et du pouvoir tampon direct du système hydrologique touché. Les sols de certaines régions au Canada ont subi des dommages sérieux à cause de leur vulnérabilité. Ces sols sont d'origine glaciaire et contiennent des composants instables à grains fins qui peuvent libérer des métaux toxiques ou d'autres éléments dans les eaux souterraines ou dans des systèmes biologiques par une interaction avec des ions hydrogène (NRCC, 1981).

Dans le cadre de recherches effectuées sur les écosystèmes aquatiques, on a progressivement acidifié l'eau d'un lac du nord de l'Ontario en ajoutant directement de l'acide sulfurique, à partir de 1976. L'acide était ajouté dès la fonte des glaces (mai) à un pH choisi à l'avance. On conservait

le même pH tout au long de la saison chaude. Le pH a subi une baisse entre 1976 et 1979 de 6,4 à 5,6. Les modifications suivantes ont été observées dans le biote:

Microorganismes: la décomposition, mesurée par le taux de carbone inorganique dissous généré dans l'hypolimnion ou sous la glace hivernale, n'a pas diminué, malgré qu'une grande partie peut être effectuée par les réducteurs des sulfates.

Phytoplancton: il ne semble pas y avoir eu oligotrophisation (processus par lequel un milieu aquatique devient oligotrophe, c'est-à-dire, dont les substances nutritives sont peu abondantes); la biomasse du phytoplancton semble avoir diminué légèrement. Les diatomées ont disparu et le nombre d'algues vertes s'est multiplié. Les espèces originales de phytoplancton ont été remplacées par d'autres qui toléraient mieux l'acide.

Invertébrés: les *Mysis relicta*, qui constituent le menu principal de la truite grise, ont presque disparu à un pH de 5,8 durant l'hiver. L'exosquelette de l'écrevisse (*Orconectes virilis*) n'a pas durci après qu'elle se soit dépouillée de sa carapace à un pH de 5,84 durant l'été. Les deux familles d'écrevisses (*Mysis et Orconectes*) ont semblé avoir des problèmes de recalcification après s'être dépouillées de leur carapace dans des eaux dont le pH se situait entre 5,5 et 5,7. L'absorption de ^{45}Ca par les écrevisses a été inhibée à un pH de moins de 5,75 et a complètement cessé à un pH de 4,0.

Poissons: les populations de truites grises (*Salvelinus namaycush*) et de catostomes noirs communs (*Catostomus commersoni*) ont suvécu et continué de se reproduire à des pH aussi faibles que 5,5. Toutefois, on a observé l'incidence croissante de mortalité et de déformité des embryons de la truite grise à des pH de 5,8 à 6,0. Le taux de croissance et l'état des plus gros individus sont demeurés les mêmes. Les têtes-de-boule (*Pimephales promelas*) ont disparu après que le pH de l'eau ait descendu à 5,6.

Les données qui précèdent suggèrent que les mécanismes physiologiques qui président à la calcification, à la formation des oeufs et à la génèse des embryons jouent un rôle plus important dans la disparition des organismes aquatiques que les effets d'une baisse de la productivité du système sur la chaîne alimentaire (NRCC, 1981).

L'acide chlorhydrique peut être neutralisé lentement par l'alcalinité naturelle des eaux et le dioxyde de carbone dissous (OHM-TADS, 1981) ou par des agents neutralisants comme du carbonate de calcium ($CaCO_3$) ou de l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$). Il a été prouvé que ce processus de neutralisation peut combattre partiellement les effets d'une acidification chronique et d'une contamination par des métaux toxiques et qu'il peut de plus faire remonter le niveau du pH abaissé par un déversement, minimisant ainsi par son action les dommages encourus par un système aquatique.

6.6 Autres effets

6.6.1 Effets possibles sur les procédés d'épuration des eaux. – L'acide chlorhydrique peut nuire à l'action des coagulants en abaissant le pH (OHM-TADS, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Le chlorure d'hydrogène anhydre est un gaz incolore, corrosif et ininflammable, dont l'odeur caractéristique est âcre et suffocante. Lorsqu'il est présent dans l'air, il irrite les voies respiratoires. Le chlorure d'hydrogène peut être présent dans l'atmosphère à l'état anhydre (vapeurs) et à l'état d'aérosol, c'est-à-dire sous forme de gouttelettes microscopiques de solution aqueuse en suspension dans l'air. Le gaz anhydre est extrêmement hygroscopique; à cause de cette caractéristique, une exposition aux vapeurs est beaucoup plus dangereuse pour un système biologique qu'une exposition aux aérosols d'acide chlorhydrique. Les vapeurs sont non seulement corrosives, comme l'acide, elles sont, de plus, dessicatives. Toutefois, son affinité pour l'eau rend improbables les expositions chroniques de l'environnement à de faibles teneurs en gaz anhydre; par contre une exposition aiguë à la suite d'un accident est très possible. Le chlorure d'hydrogène anhydre libère rapidement des vapeurs dans une atmosphère humide pour former un aérosol. On doit par conséquent présumer que les données provenant de rapports publiés sur le chlorure d'hydrogène atmosphérique se rapportent aux aérosols (acide chlorhydrique) et non aux vapeurs (chlorure d'hydrogène anhydre), à moins d'indications contraires. En général, les expositions aux vapeurs sont limitées à la surface externe du corps (tégument et conjonctive) et les muqueuses de voies respiratoires (dents, muqueuses buccales et nasales, muqueuses du pharynx et de la trachée, etc.). Le contact du chlorure d'hydrogène anhydre à l'état liquide occasionnera des brûlures graves dues aux basses températures nécessaires à sa conservation à l'état liquide ainsi que des irritations sévères et des nécroses. Le contact de l'acide chlorhydrique concentré avec la peau occasionnera des brûlures chimiques ou une dermatite. Son ingestion n'occasionne aucun problème, puisque l'acide chlorhydrique fait normalement partie des sucs digestifs (NAS, 1976; Kirk-Othmer, 1980; Matheson, 1980).

La description des mécanismes de l'action du chlorure d'hydrogène peut s'effectuer en deux temps: 1° les effets biochimiques élémentaires et moléculaires et 2° les troubles fonctionnels. Les premiers mécanismes comportent les différentes réactions possibles entre l'hydronium (H_3O^+) et les molécules organiques du système mammalien. Il est connu que le chlorure d'hydrogène, jusqu'à des teneurs de 72 p. 100 par poids à 20 °C, est extrêmement soluble dans l'eau. Il se dissocie presque complètement en milieu aqueux en formant de l'hydronium et des ions chlorure:

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

Par ce mécanisme, le proton H^+ est attaché dans la molécule d'eau par une liaison covalente coordonnée, l'espèce chargée devenant un donneur virtuel de protons. Les réactions possibles incluent le clivage des molécules organiques en raison de la propriété catalytique des protons, l'hydrolyse des peptides et des esters (les deux sont des constituants de la paroi cellulaire), l'hydroxylation du carbonyle et la polymérisation et la dépolymérisation des molécules organiques. Lorsque la membrane perd son intégrité, la cellule affectée peut facilement perdre ses composants cytoplasmiques, le tout rapidement suivi de la mort des cellules (NAS, 1976).

Parmi les mécanismes du deuxième type (troubles fonctionnels), la nécrose (mort des cellules) est l'effet le plus grave d'une brûlure par l'acide. Un érythème et un oedème la précèdent habituellement, l'oedème en étant la manifestation la plus caractéristique. Tout tissu exposé à une dose importante de chlorure d'hydrogène développe un oedème. Un oedème de la cornée et de la conjonctive, de la peau et des muqueuses superficielles et des tissus des voies respiratoires profondes apparaît toujours à la suite d'une exposition substantielle ou massive (NAS, 1976).

Des expériences effectuées avec des rongeurs montrent une grande différence dans les réactions aux doses toxiques de chlorure d'hydrogène de diverses espèces. Par exemple, les teneurs qui provoquent la mort des souris, des cobayes et des lapins ne sont pas nécessairement létales pour les rats. Des troubles respiratoires sont la principale cause de la mort des sujets, l'emphysème, l'atélectasie et l'oédème pulmonaire réflétant l'étendue des dommages. Des lésions alvéolaires résiduelles persistaient chez des animaux disséqués 14 jours après une exposition. On n'a pas rapporté de différences dans la gravité des lésions ou dans le type de traumatismes à la suite d'expositions au chlorure d'hydrogène à l'état gazeux et à l'état d'aérosol. Toutefois, la température semble jouer un rôle important, puisqu'on a enregistré un taux de mortalité et de morbidité beaucoup plus élevé à 37 °C qu'à 20 °C (NAS, 1976).

On n'a rapporté aucun effet carcinogène, mutagène ou tératogène à la suite d'une exposition au chlorure d'hydrogène gazeux (NAS, 1976). Le chlorure d'hydrogène figure dans l'inventaire TSCA de l'EPA.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition au chlorure d'hydrogène et à l'acide chlorhydrique sont basées sur leurs propriétés irritantes; toutefois, le degré d'exposition permis par la norme est considéré comme une mesure limite afin de prévenir une irritation sévère (Doc. TLV, 1981). Les directives des provinces, au Canada, ressemblent en général aux directives de l'ACGIH américaine, à moins d'indications contraires.

Directive (teneur et durée)	Origine	Teneur recommandée	Référence
TLV® (8 h)	ACGIH	5 ppm (7 mg/m^3) (teneur plafond)	TLV, 1983
PEL (10 h) (plafond)	OSHA	5 ppm (7 mg/m^3)	NIOSH Guide, 1978
PEL (10 mn)	NRCC*	7 ppm (10 mg/m^3)	NAS, 1976
PEL (30 mn)	NRCC*	3 ppm (5 mg/m^3)	NAS, 1976
PEL (60 mn)	NRCC*	3 ppm (5 mg/m^3)	NAS, 1976
Seuil d'intervention	OSHA	2,5 ppm (3,5 mg/m^3)	GE, 1977
Teneur maximale admissible	URSS	4 ppm	Doc. TLV, 1981
Teneur maximale admissible	République fédérale d'Allemagne	4 ppm	Doc. TLV, 1981
Teneur maximale admissible	Tchécoslovaquie	5 ppm	Doc. TLV, 1981

*National Research Council Committee on Toxicity Data, 1971.

7.1.1 Teneurs limites admissibles pour des expositions de courte durée. – Aucune teneur limite pour des expositions de courte durée (STEL) n'a été fixée, parce qu'il existe déjà une teneur maximale admissible de 5 ppm qui s'applique aux conditions de travail et qui ne peut être dépassée en tout temps. Certaines valeurs ont été proposées par le National Research Council Committee on Toxicology (NAS, 1976).

Directive (teneur et durée)	Origine	Teneur recommandée	Référence
A. Limites d'exposition à court terme pour le chlorure d'hydrogène			
STEL (10 mn)	USA-NRCC Tox.	4 ppm (6 mg/m^3)	NAS, 1976
(30 mn)	USA-NRCC Tox.	2 ppm (3 mg/m^3)	NAS, 1976
(60 mn)	USA-NRCC Tox.	2 ppm (3 mg/m^3)	NAS, 1976
(1 h/d)	USA-NRCC Tox.	2 ppm (3 mg/m^3)	NAS, 1976
(5 h/d)	USA-NRCC Tox.	0,7 ppm (1 mg/m^3)	NAS, 1976
B. Autres limites d'exposition			
Teneur létale minimale (inhalation de HCl aqueux pendant 30 mn)		1300 ppm	RTECS, 1979
IDLH (HCl anhydre)		100 ppm	NIOSH Guide, 1978
Teneur létale minimale (inhalation de HCl anhydre pendant 1 mn)		1000 ppm	RTECS, 1979
Teneur létale minimale (voie d'absorption inconnue, HCl aqueux)		81 mg/kg	RTECS, 1979
Teneur limite du réflexe de chronaxie optique		0,402 ppm	NAS, 1976
Teneur limite de toxicité digitovasculaire		0,335 ppm	NAS, 1976
Teneur limite du réflexe oculaire de sensibilité à la lumière		0,134 ppm	NAS, 1976
Teneur limite du changement dans le rythme et l'amplitude respiratoires		0,067 ppm à 134 ppm	NAS, 1976

7.1.2 **Indice de toxicité par inhalation.** – L'indice de toxicité par inhalation (ITI) est une mesure de la capacité d'une substance de provoquer des lésions si elle est inhalée. On l'évalue de la façon suivante:

ITI = 1315,12 (pression de vapeur, en mm de Hg/TLV® , en ppm)

ITI = 1315,12 (31 580 mm de Hg à 20 °C/5 pour HCl gazeux)

ITI = 8,3 x 10^6

L'indice de toxicité étant une mesure de la toxicité des gaz, il ne peut servir à évaluer la toxicité des poussières, des matières solides et des aérosols. Il ne faudrait pas oublier que le chlorure d'hydrogène anhydre est converti en aérosol au contact de l'humidité atmosphérique dans la plupart des cas.

7.2 Données sur les propriétés irritantes

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Teneur élevée de l'eau en acide	Brûlures, ulcères et cicatrices de la peau et des muqueuses	USDHEW, 1977
Acide de titre fort	Dermatites et photosensibilisation	TDB (on-line), 1981
HCl de 1 N (120 mn)	Une exposition minimale endommage les tissus de façon évidente à l'examen microscopique	NAS, 1976

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Teneur élevée	Cause une irritation des yeux et même une altération prolongée ou permanente de la vue, y compris la cécité	NIOSH/OSHA, 1981

7.3 Seuil de perception des caractères organoleptiques

7.3.1 Odeur. – Le chlorure d'hydrogène a une odeur âcre, piquante et irritante (AAR, 1981). Valeur du seuil de perception: 29 928 (AAR, 1981)

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil de perception (Russie)	air	0,2 mg/m^3 (0,13 ppm)	NAS, 1976
Seuil de perception	air	1 ppm à 5 ppm	AAR, 1981
Seuil de perception		10 ppm	NAS, 1976
Seuil de perception (Russie)	aérosols	0,1 mg/m^3 (0,067 ppm)	NAS, 1976
Seuil de perception (Russie)	air	0,39 mg/m^3 (0,26 ppm)	NAS, 1976
Seuil supérieur d'identification	air	5 ppm	AAR, 1981
Identification	air	10 ppm	ASTM, 1980
Seuil inférieur de perception		1 ppm	OHM-TADS, 1981
Seuil supérieur de perception		5 ppm	OHM-TADS, 1981

Comme le montrent les données qui précèdent, la gamme des teneurs perceptibles par l'odorat s'étend entre 0,067 ppm et 10 ppm de chlorure d'hydrogène (aérosols) dans l'air. Elle correspond aux valeurs enregistrées lors d'une étude subjective effectuée avec des hygiénistes industriels qui avaient subi un entraînement (NAS, 1976):

		Teneur en chlorure d'hydrogène (ppm)	
Réaction	Nombre d'observations	Moyenne	Gamme
Aucune	6	0,4	0,06 - 1,8
Minimale	4	0,7	0,07 - 2,17
Perception facile	5	4,17	1,9 - 8,6
Forte	5	13,37	5,6 - 22,1

7.3.2 Goût. – Le chlorure d'hydrogène a un goût aigre qui ressemble au chlore (AAR, 1981).

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil d'identification	Eau	16 mmol/l	ASTM, 1980
Seuil d'identification	Eau	18 mmol/l	ASTM, 1980

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil d'identification	Eau	11 mmol/l	ASTM, 1980
Seuil d'identification	Eau	$9{,}0 \times 10^{-4}$ N	ASTM, 1980
Seuil d'identification	Eau	31 mg/100 ml	ASTM, 1980
Seuil d'identification	Eau	50 mmol/l	ASTM, 1980
Seuil de goût moyen		32 ppm	OHM-TADS, 1981

7.4 Études de toxicité à long terme

7.4.1 Inhalation

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
	A. Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
2000 ppm à 1300 ppm, quelques minutes	Mort	NAS, 1976
1300 ppm (30 mn) à l'état d'acide chlorhydrique	TLmin.	RTECS, 1979
1000 ppm (1 mn) à l'état de chlorure d'hydrogène	TLmin.	RTECS, 1979
100 ppm à 500 ppm (60 mn)	Atmosphère intolérable	NAS, 1976
100 ppm à 50 ppm	Travail impossible	NAS, 1976
50 ppm à 10 ppm	Travail difficile mais possible	NAS, 1976
35 ppm	Irritation de la gorge à la suite d'une brève exposition	NAS, 1976
10 ppm	Irritations	NAS, 1976
10 ppm	Travail sans problème	NAS, 1976
5 ppm	Aucun dommage organique	NAS, 1976
• CHEZ LE MAMMIFÈRE (non spécifié)		
1000 mg/m^3 (2 h) à l'état de HCl anhydre	TLmin.	ITII, 1981; RTECS, 1979
• CHEZ LE CHAT		
5000 mg/m^3 (1 h 30 mn)	Mort après 2 à 3 jours	NAS, 1976
2000 mg/m^3 (entre 2 h et 6 h)	Irritations sévères, dyspnée et opacification de la cornée	Patty, 1981
1000 mg/m^3 (entre 2 h et 6 h)	Quelques cas de mortalité	Patty, 1981
210 à 150 mg/m^3 (jusqu'à 360 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Salivation, rhinorrhée, pas de séquelles	NAS, 1976
• CHEZ LE LAPIN		
6500 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Taux de mortalité de 100 p. 100 Résistance des sujets aux effets immédiats du chlorure d'hydrogène et mort subséquente causée par des infections pulmonaires ou nasales. Lésions au foie chez le tiers des sujets	NAS, 1976
6400 mg/m^3 (30 mn)	TL50	RTECS, 1979
5500 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs	Aucun cas de mortalité	NAS, 1976
5000 mg/m^3 (90 mn) à l'état de vapeurs	Mort deux à six jours après l'exposition	NAS, 1976

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
2000 mg/m^3 (75 mn)	Irritations sévères, dyspnée et opacification de la cornée, quelques cas de mortalité	Patty, 1981
2000 mg/m^3 (75 mn) à l'état de vapeurs	Insuffisance respiratoire aiguë, opacification de la cornée	NAS, 1976
1000 mg/m^3 (entre 90 mn et 360 mn) à l'état de vapeurs	Taux de mortalité de 100 p. 100	NAS, 1976
450 mg/m^3 (360 mn) à l'état de vapeurs	Cornée opacifiée et catarrhe	NAS, 1976
150 mg/m^3 à 210 mg/m^3 (jusqu'à 360 mn) à l'état de vapeurs	Salivation, rhinorrhée	NAS, 1976
90 mg/m^3 pendant 5 mn et 45 mg/m^3 (10 mn) à l'état de vapeurs	Arrêt sans récupération de l'activité ciliaire du tissu excisé	Patty, 1981
4416 ppm (30 mn) à l'état anhydre	TLmin.	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
60 100 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs	TL50	NAS, 1976
48 507 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
47 500 mg/m^3 (5 mn)	Dose minimale mortelle calculée (237 500 mg · mn/m^3)	NAS, 1976
45 600 mg/m^3 (5 mn) à l'état d'aérosols	TL50	NAS, 1976
8300 mg/m^3 (30 mn) à l'état d'aérosols	TL50	NAS, 1976
6900 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	TL50	NAS, 1976
6900 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	TL50 calculée* (127 500 mg · mn/m^3)	NAS, 1976
28 775 mg/m^3 (5 mn) à l'état d'aérosols	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
4336 mg/m^3 (30 mn) à l'état d'aérosols	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
3990 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
3124 ppm (1 h) à l'état de HCl aqueux	TL50	RTECS, 1979
• CHEZ LA SOURIS		
52 800 mg · mn/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
20 200 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs	TL50 calculée* (101 000 mg · mn/m^3)	NAS, 1976
16 500 mg/m^3 (5 mn) à l'état d'aérosols	TL50	NAS, 1976
13 496 mg/m^3 (5 mn) à l'état d'aérosols	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
4768 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
4750 mg/m^3 (5 mn)	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
3900 mg/m^3 à l'état de vapeurs	TL50	NAS, 1976
3870 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	TL50 calculée* (116 100 mg · mn/m^3)	NAS, 1976
3100 mg/m^3 (30 mn) à l'état d'aérosols	TL50	AAR, 1981
1794 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
1690 mg/m^3 (30 mn) à l'état d'aérosols	Teneur minimale mortelle	NAS, 1976
• CHEZ LE COBAYE		
6500 mg/m^3 (30 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Taux de mortalité de 100 p. 100	NAS, 1976
5500 mg/m^3 (5 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Aucune mortalité	NAS, 1976
5000 mg/m^3 (90 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Mort des sujets deux à six jours après leur exposition	NAS, 1976

* Teneur létale calculée en milligrammes-minutes par mètre cube.

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
2000 mg/m^3 (75 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Irritations respiratoires, opacification de la cornée	NAS, 1976
1000 mg/m^3 (360 mn)	Taux de mortalité de 100 p. 100	NAS, 1976
450 mg/m^3 (360 mn) à l'état de vapeurs de HCl	Opacification de la cornée, catarrhe	NAS, 1976
	B. Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
Teneur non spécifiée (3 mois)	Attaque précoce de l'émail des dents des ouvriers	NAS, 1976
Teneur non spécifiée (18 mois)	Érosion précoce de l'émail des dents des ouvriers	NAS, 1976
Teneur non spécifiée (6 ans)	Exposition de la dentine secondaire à la suite de l'érosion précoce de l'émail des dents des ouvriers	NAS, 1976
• CHEZ LE LAPIN		
150 mg/m^3 (360 mn/d pendant 50 d) à l'état de vapeurs de HCl	Agitation, irritations des yeux et du nez	NAS, 1976
100 mg/m^3 (360 mn/d pendant 5 d) à l'état de vapeurs de HCl	Inflammation des voies respiratoires	NAS, 1976
50 mg/m^3 (360 mn/d pendant 20 d)	Aucun effet, pathologie négative	NAS, 1976
• CHEZ LE COBAYE		
150 mg/m^3 (360 mn/d pendant 50 d) à l'état de vapeurs de HCl	Agitation, irritation des yeux et du nez	NAS, 1976
100 mg/m^3 (360 mn/d pendant 5 d) à l'état de vapeurs de HCl	Inflammation des voies respiratoires	NAS, 1976
50 mg/m^3 (360 mn/d pendant 20 d)	Aucun effet, pathologie négative	NAS, 1976
• CHEZ LE SINGE		
50 mg/m^3 (360 mn/d pendant 20 d)	Aucun effet, pathologie négative	NAS, 1976

La cause de la mort des cobayes a été attribuée à des dommages étendus des voies respiratoires. Des teneurs élevées ont causé des nécroses de la trachée et des bronches, des oedèmes, une atélectasie, de l'emphysème et des dommages aux vaisseaux sanguins des poumons. Des changements marqués du foie de 79 p. 100 des cobayes morts ont été notés à l'examen pathologique; d'autres examens ont révélé des lésions pulmonaires chez les sujets morts ou disséqués un à dix-huit mois après avoir été exposés. Les lapins ont montré une plus grande résistance aux effets immédiats des vapeurs de chlorure d'hydrogène, quoiqu'ils soient morts plus tard d'infections pulmonaires et nasales. On a noté des lésions graves au foie de 31 p. 100 des lapins morts. Des essais d'une durée de 50 jours n'ont eu pour résultat qu'une agitation légère et une irritation des yeux et du nez des lapins et des cobayes (NAS, 1976).

Les souris ont montré une plus grande vulnérabilité aux effets létaux des vapeurs de chlorure d'hydrogène que les rats, les cobayes, les lapins ou les singes. Pour une espèce, l'étendue des dommages dépend de la teneur calculée à l'intérieur d'une gamme donnée et de la durée de l'exposition. La TL50 calculée pour les souris est la moitié de celle des rats. Les résultats d'essais

révèlent que des effets toxiques ou la mort de sujets ne sont enregistrés que très rarement après une seule exposition de 5 minutes ou plus à une teneur calculée de moins de 10 000 mg · mn/m^3, même avec des souris. La TL50 calculée pour les souris est d'environ 100 000 mg · mn/m^3 et pour les rats de 250 000 mg · mn/m^3 pour une durée d'exposition variant entre 5 mn et 30 mn. L'opacification de la cornée se produit à une TL50 chez les lapins et les cobayes. Il a été démontré qu'une teneur de 50 000 mg · mn/m^3 occasionne des irritations, une salivation et une rhinorrhée chez les lapins et les cobayes; des teneurs journalières de 18 000 mg · mn/m^3 (équivalent à 50 mg/m^3 pendant 6 h/d) pendant 20 jours n'ont entraîné aucune irritation et aucun effet morphologique apparent (même chez les singes). Toutefois, de façon générale, il existe peu de données publiées sur les effets de l'inhalation du chlorure d'hydrogène sur le système ou les organes des animaux (NAS, 1976).

7.4.2 Ingestion

Exposition (teneur et durée)	Effet	Référence
• CHEZ LE LAPIN		
900 mg/kg de HCl aqueux	DL50	OHM-TADS, 1981

7.4.3 Absorption intrapéritonéale

Exposition (teneur et durée)	Effet	Référence
• CHEZ LA SOURIS		
40 mg/kg de HCl aqueux	DL50	OHM-TADS, 1981

7.5 Symptômes d'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des documents consultés. Seuls les symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle sont suivis de la référence appropriée.

Les effets d'une exposition aux vapeurs ou aux aérosols de chlorure d'hydrogène se limitent habituellement chez l'homme à l'inflammation et possiblement à l'ulcération du nez, de la gorge et du larynx; il est arrivé, dans quelques rares cas, qu'une exposition entraîne des spasmes du larynx et un oedème pulmonaire. On a observé que des teneurs élevées pouvaient occasionner des brûlures de la peau et des yeux, l'exposition devant cependant être de longue durée. Un lavage avec une grande quantité d'eau immédiatement après une exposition préviendra des dommages sérieux. Ce genre de précaution s'applique en présence de HCl à l'état de vapeurs, d'aérosols ou en solution. Les vapeurs, en se dissolvant dans la sueur, peuvent causer une dermatite. L'attaque et(ou) l'érosion des dents d'en avant peuvent survenir à la suite d'une exposition au chlorure d'hydrogène gazeux, malgré qu'il ne semble pas y avoir une augmentation de la carie dentaire. On n'a observé aucun symptôme anormal après une exposition chronique à de faibles teneurs de chlorure d'hydrogène gazeux, c'est-à-dire aucune altération de la fonction respiratoire, alors que ce symptôme est apparu à la suite d'une exposition prolongée à des teneurs similaires.

Il a été suggéré que le phénomène d'acclimatation était responsable de l'absence de symptôme dans le premier cas (NAS, 1976).

7.5.1 Inhalation (vapeurs et aérosols)

1. Irritation du nez, de la gorge et des yeux. (Peut causer le saignement du nez et des gencives.)
2. Irritation et inflammation des voies respiratoires supérieures.
3. Céphalées.
4. Spasmes laryngiens.
5. Laryngite (ITII, 1981).
6. Toux et suffocation.
7. Ulcération des muqueuses buccales et nasales.
8. Érosion et attaque des dents.
9. Bronchite (ITII, 1981).
10. Pneumonie (ITII, 1981).
11. Perforation de la cloison des fosses nasales (ITII, 1981).
12. Oedème pulmonaire (à la suite d'une exposition importante).
13. Palpitations (ITII, 1981).
14. Mort (NAS, 1976).

7.5.2 Ingestion (acide chlorhydrique)

1. Salivation.
2. Soif intense.
3. Irritation et sensations de brûlure des lèvres et de la gorge.
4. Sensations de brûlure de l'oesophage, de l'arrière de la gorge et de l'estomac.
5. Déglutition douloureuse.
6. Brûlures graves des muqueuses de la bouche, de l'oesophage et de l'estomac.
7. Les lèvres et la bouche blanchissent habituellement et brunissent ensuite (MCA, 1970).
8. Oedème de la glotte.
9. Nausées et vomissements, parfois de sang.
10. Diarrhées (MCA, 1970).
11. Difficultés respiratoires.
12. Risques de perforation de l'estomac.
13. Néphrite (ITII, 1981).
14. État de choc.
15. Convulsions.
16. Coma.
17. Mort (MCA, 1970).

7.5.3 Contact avec la peau (vapeurs, aérosols ou solution aqueuse)

1. Douleur cuisante.
2. Sensations de brûlure.
3. Inflammation.
4. Brûlures pouvant être très douloureuses et blanchir (Lefèvre, 1980).
5. Ampoules douloureuses.
6. Dermatite (MCA, 1970).
7. Dommage sérieux aux tissus.

7.5.4 Contact avec les yeux (vapeurs et aérosols)

1. Larmoiement.
2. Sensations de piqûres ou de brûlures avec ulcérations.
3. Conjonctivite (Lefèvre, 1980).
4. Photosensibilisation [TDB (on-line), 1981].
5. Opacification de la cornée (Lefèvre, 1980).
6. Nécrose de la cornée.

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme

Le chlorure d'hydrogène est un gaz stable à la chaleur, mais à des températures très élevées, il se dissocie légèrement en H_2 et Cl_2 (Partington, 1968).

7.6.1 Hydrogène et chlore. – L'hydrogène est un gaz incolore, inodore et insipide qui, s'il est mélangé à l'air, forme un mélange extrêmement explosif. Au contact de l'air et d'une source d'inflammation, le mélange d'air et de gaz prend feu.

Le chlore est un gaz diatomique, jaune verdâtre, qui dégage une odeur suffocante. Ce gaz est un irritant puissant qui peut causer un oedème pulmonaire fatal s'il est inhalé. D'autres symptômes incluent des difficultés respiratoires, la corrosion des dents, l'inflammation des muqueuses nasales et une vulnérabilité accrue des sujets exposés de façon chronique à la tuberculose. La TLV® du chlore a été fixée à 1 ppm, et la STEL, à 3 ppm (TLV, 1983).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité du chlorure d'hydrogène et de divers produits chimiques

Corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Corps chimiques														
Carbure de calcium		●									●		Devient incandescent	NFPA, 1978
Carbure acétylénique de césium		●											Le carbure brûle dans le chlorure d'hydrogène gazeux	NFPA, 1978
Dowicil 100 (agent anti-microbien)						●							Décomposition instantanée	NFPA, 1978
Eau							●						Produit des fumées toxiques et corrosives (HCl en aérosol)	Sax, 1979
Fluor		●											Les gaz sont incandescents	Bretherick, 1979
Siliciure de lithium		●											Devient incandescent	NFPA, 1978
Sodium										●			Au contact	NFPA, 1978
Sulfate de mercure										●			Absorption violente à plus de 125 °C	NFPA, 1978
Groupe de corps chimiques														
Acétylures métalliques (carbures)		●											S'enflamment ou deviennent incandescents	Bretherick, 1979

8.2 Compatibilité de l'acide chlorhydrique et de divers produits chimiques

Corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Corps chimiques														
Acétate de vinyle	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Acétylure de rubidium		●											Brûle avec de l'acide chaud	NFPA, 1978
Acide chlorosulfonique	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100 dans un récipient clos	NFPA, 1978
Acide perchlorique					●					●			Décomposition instantanée et violente	NFPA, 1978
Acide sulfurique			●					●					Réaction de déshydratation, réaction violente si en grande quantité	Bretherick, 1979
Aluminium (en poudre)	●												Dégagement de chaleur dans un récipient clos	Bretherick, 1979
2-aminoéthanol	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100 dans un récipient clos	NFPA, 1978
Anhydride acétique	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Borure de magnésium			●										Produit spontanément un gaz inflammable	NFPA, 1978
Carbure de césium		●											S'enflamme avec de l'acide fort	NFPA, 1978
Carbure de rubidium		●											S'enflamme avec de l'acide fort	NFPA, 1978
Dioxyde de silicium	●													Bretherick, 1979
Disiliciure d'hexalithium			●										Produit avec de l'acide dilué des hydrures de silicium qui s'enflamment; devient incandescent dans des solutions diluées d'acide	Bretherick, 1979

Corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Éthylènediamine	●							●					Avec de l'acide chlorhydrique à 36 p. 100 en vase clos	NFPA, 1978
Éthylèneimine	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Fluor		●											Devient incandescent au contact d'acide fort	Bretherick, 1979
Hydroxyde d'ammonium	●							●					Acide et solution d'ammoniac à 28 p. 100	NFPA, 1978
Hydroxyde de sodium	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Oléum	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Oxyde de propylène	●							●					Dans un récipient clos	NFPA, 1978
Perchlorate d'argent			●										Avec de l'acide et du tétrachlorure de carbone, produit du perchlorate de triméthyle qui détone à 40 °C	NFPA, 1978
Permanganate de potassium			●										Avec de l'acide concentré et une contamination (possiblement par de l'acide sulfurique)	Bretherick, 1979
Phosphure de calcium										●			Avec de l'acide	NFPA, 1978
Phosphure d'uranium				●									Produit de la phosphine qui s'enflamme instantanément	NFPA, 1978
Propiolactone (bêta)	●							●					Avec de l'acide à 36 p. 100	NFPA, 1978
Siliciure de lithium				●									Produit des gaz qui s'enflamment instantanément	NFPA, 1978
Sodium			●										Explose au contact	Bretherick, 1979
Tétranitrure de tétrasélénium			●										Explose avec de l'acide chlorhydrique fumant	Bretherick, 1979

Corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Groupe de corps chimiques														
Acétylures métalliques (carbures)		●											S'enflamment dans l'acide chlorhydrique concentré	Bretherick, 1979
Alcools et glycols	●												Réaction de déshydratation	EPA-600/2-80-076
Aldéhydes	●			●										EPA-600/2-80-076
Aliphatiques insaturés	●													EPA-600/2-80-076
Amines	●												Forment des sels d'ammonium	EPA-600/2-80-076
Cétones	●												Condensation d'aldol	EPA-600/2-80-076
Complexes métalliques et métaux						●			●					EPA-600/2-80-076
Composés inflammables	●				●	●							Comme oxydants forts	EPA-600/2-80-076
Époxy	●			●										EPA-600/2-80-076
Esters	●				●								Causent une hydrolyse ou une décomposition	EPA-600/2-80-076
Explosifs	●		●										La chaleur peut suffire pour les faire détoner	EPA-600/2-80-076
Organiques halogénés	●				●	●								EPA-600/2-80 076
Oxydants	●					●							Dégagent des gaz de chlorure toxiques et corrosifs	EPA-600/2-80-076
Phénols et crésols	●				●								Il peut se produire une substitution ou une décomposition	EPA-600/2-80-076
Réducteurs	●	●		●									Produisent de l'hydrogène	EPA-600/2-80-076
Substances caustiques	●									●				EPA-600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les exposés qui suivent sont extraits de diverses publications. Leur formulation originale a été respectée pour éviter toute déformation de sens, et ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. Toutefois, la contradiction de certaines mesures qui s'appliquent à des cas particuliers n'est qu'apparente. La mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie ou d'explosion. – Le chlorure d'hydrogène est ininflammable et incombustible (Air Products SGDS, 1980). Au contact des métaux communs, l'acide chlorhydrique produit de l'hydrogène gazeux qui est explosif et inflammable (NFPA, 1978; GE, 1977). Il peut s'accumuler à l'intérieur de contenants métalliques une concentration d'hydrogène capable de provoquer une explosion (Du Pont MSDS, 1979).

9.1.2 Moyens d'extinction. – Refroidir avec un jet d'eau pulvérisé les récipients touchés par le feu pour éviter qu'ils n'éclatent. On peut également employer un jet d'eau pulvérisé pour réduire la quantité de vapeurs (ERG, 1980; GE, 1977). Retirer les récipients de la zone d'incendie, si cela ne présente aucun danger. Ne pas faire pénétrer d'eau dans les récipients (ERG, 1980; EAG, 1978). Ne pas s'approcher des extrémités des citernes (EAG, 1978). De l'eau pulvérisée ou vaporisée constitue un moyen efficace pour refroidir les récipients touchés par le feu et réduire les émissions de chlorure d'hydrogène gazeux. Toutefois, il ne faut jamais arroser d'eau un récipient qui fuit, parce que l'acide chlorhydrique produit au contact de l'eau corrodera le récipient métallique, causant ainsi une fuite encore plus importante. Les conditions ressemblent à celles qui prévalent en présence de chlore.

9.1.3 Évacuation de la zone dangereuse. – Le présent paragraphe fournit des indications quant à la superficie à évacuer. Ces indications, qui sont tirées des sources bibliographiques consultées, ne sont pas toujours accompagnées, malheureusement, de données relatives à la quantité de polluant déversée, à la teneur en polluant de l'air, aux conditions météorologiques et aux caractéristiques du milieu. Aussi est-il recommandé au lecteur de comparer les chiffres qui apparaissent dans le tableau ci-dessous aux valeurs qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes de calcul de la zone dangereuse, à la section 5.3, lesquelles tiennent compte des facteurs susmentionnés. Le tableau qui suit fournit les distances d'évacuation recommandées en cas de déversement accidentel lorsque les vents atteignent 10 km/h à 19 km/h (EAG, 1978).

Superficie de la nappe	Rayon de la zone de danger immédiat	Superficie à évacuer, du côté sous le vent, pour une sécurité maximale
20 m^2	115 m (150 pas)	810 m de longueur sur 810 m de largeur
35 m^2	165 m (216 pas)	1620 m de longueur sur 810 m de largeur
55 m^2	205 m (270 pas)	1620 m de longueur sur 1620 m de largeur
75 m^2	240 m (312 pas)	2430 m de longueur sur 1620 m de largeur

Dans le cas d'une explosion, la distance minimale de protection contre la volée d'éclats est de 600 m dans toutes les directions.

9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversements

9.1.4.1 Information générale. – Arrêter ou ralentir la fuite du produit si cela ne présente aucun danger. Éliminer toute source d'inflammation. Éviter tout contact avec la peau et éviter d'inhaler (GE, 1977). S'il est impossible de contenir une fuite du produit, le récipient endommagé devrait être évacué en plein air ou dans un endroit isolé et bien aéré. Le récipient devrait être placé de façon à pouvoir se vider graduellement de son contenu de gaz sans causer de dommage ou présenter de danger. Les gaz évacués devraient être éliminés par absorption dans un système contenant de l'eau ou une solution alcaline pour empêcher qu'il ne soit aspiré en retour (MCA, 1970).

Les absorbants suivants ont fait l'objet d'essais et sont recommandés pour éliminer les vapeurs et(ou) pour contenir les solutions de HCl à 26 p. 100 et à 35 p. 100 (Braley, 1980): 1° un mélange de 75 p. 100 de polyacrylamide anionique (R 1779) et de 25 p. 100 de polyacrylamide neutre (Versicol W25), 2° les polyacrylamides anioniques ou neutres seuls et 3° l'hydroxyéthylcellulose (Cellosize WP3H).

9.1.4.2 Déversements sur le sol. – Il faut empêcher le chlorure d'hydrogène liquide ou l'acide chlorhydrique déversés d'atteindre un plan d'eau ou les égouts en les confinant. Les vapeurs dégagées par le gaz ou le liquide peuvent être rabattues au sol à l'aide d'un jet d'eau pulvérisé ou vaporisé. Quand il est impossible de récupérer le chlorure d'hydrogène liquide, le diluer avec de l'eau pour diminuer son taux de vaporisation; la dilution sera cependant accompagnée d'une ébullition violente qui nécessitera une vaporisation d'eau continue pour contrôler le processus d'aérosolisation. Il faut essayer de récupérer l'acide chlorhydrique. Si cela est impossible, le neutraliser avec les agents appropriés pour minimiser les dégâts qu'il peut causer dans l'environnement.

9.1.4.3 Déversements dans l'eau. – Le chlorure d'hydrogène liquide ou l'acide chlorhydrique déversés dans un plan d'eau abaisseront le pH de l'eau et augmenteront sa teneur en chlore. L'aire contaminée devrait être confinée à l'aide de barrières si possible, et le pH devrait être ramené à son niveau normal.

9.1.5 Nettoyage et traitement

9.1.5.1 Déversements sur le sol. – Neutraliser les petites quantités d'acide chlorhydrique ou de chlorure d'hydrogène liquide dilué déversées sur le sol avec du carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3) ou de la chaux (CaO). Ramasser à la pelle le polluant neutralisé et le mettre dans des récipients en vue de son élimination (GE, 1977).

Lorsqu'une grande quantité de produit a été déversée, neutraliser la solution aqueuse qui reste (après récupération) ou tout le liquide déversé avec de la pierre à chaux ($CaCO_3$), de la chaux (CaO) ou du carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3) (Dow MSDS, 1979*a*, *b*). Les boues résiduelles peuvent être ramassées à la pelle et mises dans des récipients en vue de leur élimination. On peut également employer de la cendre volante ou du ciment en poudre pour absorber la solution aqueuse (EPA 670/2-75-042), ou encore du charbon actif (CG-D-38-76).

9.1.5.2 Déversements dans l'eau. – L'eau contaminée peut être traitée avec du bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$), un agent neutralisant que l'on peut se procurer facilement et avec lequel il est impossible de «surdoser», évitant ainsi de ramener le pH à un niveau plus élevé qu'il n'était initialement. On compte parmi d'autres agents neutralisants la chaux (CaO), la pierre à chaux ($CaCO_3$) et le carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3) (CD-D-16-77).

9.1.5.3 Information générale. – Pour épurer l'eau, il est conseillé de séparer les matières solides par gravité, puis de neutraliser la solution à l'aide d'un mélange (50/50) de carbonate de sodium anhydre (Na_2CO_3) et de chaux (CaO). Agiter le mélange pour accélérer la vitesse de la réaction (EPA 600/2-77-227). L'échange d'anion est également recommandé pour effectuer une neutralisation (OHM-TADS, 1981).

9.1.6 Élimination du polluant. – L'acide chlorhydrique résiduel ou l'eau contaminée par l'acide ne doivent jamais être rejetés dans des eaux de surface ou un égout. Après leur neutralisation, sur les lieux du déversement ou dans une installation de traitement des déchets, il se forme une boue qui peut être mise en décharge. L'eau peut être rejetée dans l'environnement une fois qu'elle a été traitée adéquatement.

9.1.7 Appareils et vêtements de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés chimiques ne sont connus, il faut revêtir une combinaison entièrement étanche et porter un appareil respiratoire autonome.

S'il est certain que le produit déversé est du chlorure d'hydrogène (à l'état anhydre ou en solution aqueuse):

– L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières pare-acide (de 20 cm au minimum) et toute autre pièce de vêtement requise pour prévenir tout risque de contact répété ou prolongé de la peau avec les vapeurs ou les solutions de chlorure d'hydrogène. Le port de lunettes anti-éclaboussures est également conseillé pour protéger les yeux (NIOSH/OSHA, 1981).

– Le port de vêtements protecteurs en laine est recommandé (GE, 1977). Ne pas employer de gants en PVA. Porter un chapeau à large bord ou une casquette pour protéger la tête contre les éclaboussures ou les fuites de liquide (MCA, 1970). On recommande également le port de casques en plastique dur (PPG, 1979).

– Le Cloropel et le PVC conviennent le mieux (excellente résistance) pour la fabrication de combinaisons de protection contre l'acide chlorhydrique, suivis par le néoprène (bonne résistance) (EE-20).

– Un vêtement non imperméable touché par une solution de chlorure d'hydrogène doit être enlevé immédiatement et ne peut être porté à nouveau aussi longtemps que le chlorure d'hydrogène n'en a pas été retiré.

– On doit trouver sur les lieux de l'intervention des bains oculaires automatiques et des douches à fort débit, d'accès faible (GE, 1977).

Le lecteur trouvera dans le tableau qui suit une liste des éléments minimaux de protection des voies respiratoires requis pour une intervention sur les lieux d'un déversement de chlorure d'hydrogène (NIOSH/OSHA, 1981).

Situation	Équipement requis au-delà de 5 ppm
Teneur atmosphérique en chlorure d'hydrogène gazeux de 50 ppm ou moins	Tout respirateur à cartouches filtrantes muni de cartouches anti-gaz acides
	Tout respirateur alimenté en air sous pression
	Tout appareil respiratoire autonome
100 ppm ou moins	Tout respirateur à cartouches filtrantes muni d'un masque couvre-visage et de cartouches anti-gaz acides
	Masques à gaz industriel, style menton, avec harnais ventral ou dorsal et cartouche anti-gaz acides
	Tout respirateur alimenté en air sous pression, muni d'un masque couvre-visage, d'un casque protecteur ou d'un casque-cagoule
	Tout appareil respiratoire autonome muni d'un masque couvre-visage
Plus de 100 ppm** ou pénétration dans une zone à teneur inconnue ou évacuation	Appareil respiratoire autonome, muni d'un masque couvre-visage, alimenté en air sous pression par pulmo-commande ou par commande par pression
	Un ensemble respiratoire qui comprend un respirateur alimenté en air sous pression de type C, muni d'un masque couvre-visage, à pulmo-commande, commande par pression ou à débit constant, et un respirateur auxiliaire autonome à pulmo-commande ou autre commande par pression
Lutte contre un incendie	Appareil respiratoire autonome muni d'un masque couvre-visage, à pulmo-commande ou commande par pression
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz pouvant offrir une protection contre les gaz acides
	Tout appareil respiratoire autonome d'autosauvetage

* Seul l'équipement approuvé par le NIOSH ou l'OSHA doit être utilisé.

** L'emploi de combinaisons étanches munies d'appareils respiratoires autonomes peut être nécessaire pour éviter tout contact du produit avec la peau et protéger les voies respiratoires contre des teneurs élevées de l'air en chlorure d'hydrogène; cet équipement ne devra être choisi, utilisé et entretenu que sous la supervision de personnes ayant suivi un entraînement à cette fin. Lorsque la teneur en polluant dépasse 100 ppm, il faut employer un appareil respiratoire auxiliaire autonome alimenté en air sous pression, à commande par pression.

9.1.8 Entreposage. – Entreposer les contenants de chlorure d'hydrogène dans un endroit propre, frais, et bien aéré ou en plein air. Les récipients ne doivent pas être exposés au soleil. Le plancher doit être fait de matériaux anti-acide et posséder un bon système de drainage. Il ne doit y avoir dans cet endroit ni oxydants ni matériaux alcalins. Il faut protéger les récipients contre tout dommage physique. Employer des outils de sécurité anti-étincelles près des réservoirs ou des conduites où pourrait se dégager de l'hydrogène (GE, 1977). Ne pas entreposer ou mélanger avec des cyanures, des sulfures ou de formaldéhydes (Du Pont MSDS, 1979). Les bouteilles à gaz ne doivent pas être soumises à des températures supérieures à 52 °C (Air Products MSDS, 1978).

9.2 Équipement et produits spécialisés d'intervention

La liste qui suit est extraite d'une étude publiée en 1982 par Dillon, et elle exclut de nombreux articles qui pourraient convenir au cours des interventions. (Le lecteur trouvera dans l'étude citée des renseignements relatifs aux caractéristiques, à l'efficacité et à la disponibilité des articles énumérés.)

Colmatage de fuites:	Plug N' Dike™
Sorbants:	Hazorb (sorbant)

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

Le cas à l'étude est tiré d'une expérience vécue et a été inclus parce qu'il peut aider le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversement accidentel. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont exposés ci-après; le nombre de cas décrits ne traduit ni l'importance du problème ni la fréquence des déversements réels. Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les rééditions du manuel au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.1 Bris d'un réservoir d'emmagasinage

(Communication personnelle avec RCRI, 1982; HMIR, 1980)

Un réservoir d'emmagasinage, contenant environ 750 000 l d'une solution d'acide chlorhydrique à 32 p. 100, a commencé à perdre son contenu quand le revêtement protecteur de caoutchouc naturel s'est détérioré et que l'acide a corrodé la bride au bas du réservoir. Environ 380 000 l de solution se sont déversés sur le sol et ont atteint un cours d'eau voisin avant que ne soient prises des mesures d'intervention. Il s'est dégagé des vapeurs au-dessus du liquide déversé qui se sont dispersées jusqu'à 300 mètres de l'accident.

Les pompiers ont d'abord employé de l'eau pour laver l'aire polluée par le déversement, et on a colmaté la fuite pour réduire la quantité d'acide atteignant la rivière. Une équipe d'intervention est ensuite arrivée sur les lieux, vêtue de vêtements de protection et de respirateurs à cartouches filtrantes. On a déversé des coquilles d'huîtres (quatorze charges de camion) sur l'aire contaminée. Les coquilles ont servi à la fois à contenir temporairement l'acide (en formant des barrages avec les coquilles) et à effectuer une neutralisation. Le résidu neutralisé a ensuite été raclé, enlevé à la pelle et mis dans des récipients en vue de son élimination. L'acide chlorhydrique restant dans le réservoir perforé a été transféré dans un autre réservoir.

La solution d'acide chlorhydrique qui a atteint la rivière a tué plus de 20 poissons et quelques crabes bleus. Des échantillonnages n'ont révélé aucun effet polluant prononcé parce que ce cours d'eau était déjà très pollué. Plusieurs membres de l'équipe d'intervention ont eu des éruptions au visage deux à trois jours après avoir été exposés aux fumées acides à la suite d'un changement de direction du vent pendant l'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DES POLLUANTS

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché, et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

Le titre de l'acide chlorhydrique est évalué commercialement en termes de densité relative de la solution. Par contre, dans les laboratoires, on titre l'acide chlorhydrique de façon volumétrique, c'est-à-dire à l'aide d'une base standard pour trouver la teneur en ion hydronium, ou de façon gravimétrique en effectuant une précipitation avec du chlorure d'argent. En fait, il existe plusieurs autres méthodes d'évaluation, dont la spectrophotométrie, la potentiométrie, la voltamétrie, la turbidimétrie et la polarographie. Le choix des méthodes décrites dans les paragraphes qui suivent s'est fait en fonction de leur simplicité et de leur efficacité.

Dans la pratique, le titrage du chlorure d'hydrogène à l'état de vapeurs ou en aérosol, quelle que soit sa teneur, exige qu'on le piège d'abord dans un milieu approprié comme l'eau, l'hydroxyde de sodium ou une solution de carbonate de sodium. Il est ensuite possible de procéder au titrage proprement dit en employant la méthode de son choix. La présence de corps interférents devrait être vérifiée par de simples essais qualitatifs. Il faut prélever les échantillons d'eau et de sol et les analyser en utilisant une méthode standard de laboratoire qui soit propre au chlorure d'hydrogène. Il faut de plus employer des échantillons témoins (échantillons non contaminés) qui proviennent d'aussi près que possible des lieux de l'incident.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)

11.1.1 Électrode à ion spécifique (NIOSH, 1977). – La méthode qui suit convient à l'analyse de teneurs en chlorure d'hydrogène de l'air comprises entre 1 mg/m^3 et 20 mg/m^3 (0,05 ppm et 1,0 ppm) avec des échantillons de 15 l. Cette méthode peut également servir à l'analyse d'échantillons dont la teneur est plus élevée en utilisant un volume d'échantillon plus petit.

Un volume connu d'air, soit 15 l, est aspiré au travers d'un petit barboteur contenant 10 ml d'une solution d'acétate de sodium 0,5 molaire. On allonge ensuite l'échantillon à 25 ml avec de l'eau, et on l'analyse à l'aide d'une électrode spécifique à l'ion chlorure. Cette méthode ne sert pas à identifier uniquement le chlorure d'hydrogène, parce que tous les chlorures présents dans la solution produiront une interférence positive. Il ne doit pas y avoir d'ions sulfure, car ces

derniers dopent l'électrode. La teneur en ion chlorure doit équivaloir à au moins 3×10^2 fois celle en ion bromure, 2×10^6 fois celle en ion iodure et 5×10^6 fois celle en ion cyanure pour éviter les interférences. Les teneurs élevées en espèces formant des complexes stables avec l'ion argent produisent une interférence positive. Le coefficient de variation est de 0,064. Il s'agit d'une méthode rapide et précise.

11.1.2 Colorimétrie (Leithe, 1971). – Cette méthode peut servir à doser une plage de teneurs en chlorure d'hydrogène dans l'air allant de 0,05 ppm à 0,74 ppm lorsqu'on prélève un échantillon d'air pendant une heure à raison de 3 l par minute. Le volume d'air échantillonné est ajusté de façon à obtenir une solution de 50 ml contenant entre 10 µg et 200 µg de chlorure.

Un volume connu d'air est aspiré à travers un flacon laveur contenant 30 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium 0,01 molaire à un débit de 3,0 l/mn. Le liquide absorbant est transvasé dans un ballon jaugé de 250 ml. On ajoute deux gouttes d'acide nitrique 2 molaire, 1 ml d'une solution à 1 p. 100 de thiocyanate mercurique [$Hg(SCN)_2$] dans du méthanol, et 8 g de sulfate d'ammonium ferrique dissous dans 100 ml d'acide nitrique 6 molaire. La solution est alors diluée jusqu'au trait, et l'absorbance est mesurée à 460 nm avec un spectrophotomètre. Les bromures, iodures, sulfures, thiosulfates, cyanures et nitrites causeront des interférences. La méthode est simple, ne requiert pas d'équipement spécial et est rapide. Cette méthode ne sert pas à identifier uniquement le chlorure d'hydrogène, parce que tous les chlorures présents produiront une interférence positive. Ce type de réaction consiste en une formation de complexes et implique une formation de chlorure mercurique ($HgCl_2$), de l'ion tétrachloromercurate ($HgCl_4^=$) et de l'ion thiocyanate (SCN^-). Ce dernier complexe avec l'ion ferrique (Fe^{+++}) pour former une solution colorée.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

(Leithe, 1971; Bailar, 1973)

On peut déterminer la présence du chlorure d'hydrogène dans l'air par une analyse qualitative en détectant simplement la présence de l'ion chlorure. La méthode classique utilisée dans le cas d'une solution aqueuse consiste à précipiter l'ion chlorure sous forme de chlorure d'argent dans une solution acide.

Une autre méthode simple consiste à procéder comme à la section 11.1.2 sans utiliser de spectrophotomètre. La coloration rouge orangé du complexe de thiocyanate de fer (III) indique la présence de l'ion chlorure. L'interférence d'autres ions peut fausser les résultats en indiquant la présence de l'ion chlorure. L'échantillon d'air peut être recueilli comme en 11.1.1 et 11.1.2 ou à l'aide d'instruments comme un train d'absorption, un train d'échantillonnage par impact ou un ballon sous vide.

La méthode au chlorure d'argent consiste à ajouter une solution de nitrate d'argent ($AgNO_2$) à une solution acidifiée (à l'aide d'acide nitrique) que l'on désire analyser. La présence de l'ion chlorure est indiquée par la formation d'un précipité blanc de chlorure d'argent (AgCl). Les autres ions halogénures comme le bromure (Br) et l'iodure (I^-) produisent une interférence; toutefois, leurs précipités AgBr et AgI sont légèrement colorés, et on peut facilement les distinguer du chlorure d'argent. Le chlorure d'argent est de surcroît beaucoup plus soluble dans l'hydroxyde d'ammonium, avec la formation de l'ion complexe $Ag(NH_3)2^+$, que les bromures et les iodures d'argent. Il est donc à conseiller d'ajouter en agitant de l'hydroxyde d'ammonium à la solution acide jusqu'à ce qu'elle devienne basique. La reprécipitation du chlorure d'argent s'effectue en acidifiant la solution à l'aide d'acide nitrique. Les ions sulfure et thiocyanate pourraient causer une interférence.

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)

11.3.1 Colorimétrie (ASTM, 1979). – La méthode qui suit permet de déterminer des teneurs en chlorure d'hydrogène comprises entre 0,02 ppm et 10 ppm dans l'eau. Cette méthode ressemble à celle qui a été décrite au paragraphe 11.1.2.

Des échantillons représentatifs d'au moins 50 ml sont prélevés dans des bouteilles de verre. Une solution d'alun ferrique est préparée par dissolution de 28 g de sulfate d'ammonium ferrique dans 80 ml d'eau. Le mélange est refroidi filtré et dilué à 100 ml avec de l'acide nitrique 6 molaire. On prépare une solution de thiocyanate mercurique en dissolvant 0,30 g de thiocyanate de mercure dans 100 ml de méthanol et en la laissant reposer pendant 24 heures. On mélange ensuite 5 ml de la solution d'alun ferrique et 2,5 ml de la solution de thiocyanate mercurique à un échantillon de 25 ml, et on laisse reposer le mélange 10 minutes. La couleur obtenue est analysée à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à 466 nm. Les bromures, iodures, thiosulfates, cyanures, sulfures et nitrites produiront une interférence. La méthode est sensible, rapide et facile à automatiser. Elle n'est cependant pas spécifique au chlorure d'hydrogène, et tout ion capable de déplacer l'ion thiocyanate sera identifié comme un chlorure.

11.3.2 Titrage au nitrate mercurique (AWWA, 1976). – La méthode qui suit convient à la détection d'une gamme de teneurs en chlorure de l'eau comprises entre 3 ppm et 200 ppm, ce qui équivaut à 0,15 mg à 10 mg de chlorure dans un échantillon de 50 ml. Cette méthode est basée sur la formation de chlorure mercurique lorsque la solution à analyser est titrée à l'aide de nitrate de mercure [$Hg(NO_3)_2$]. Le point de virage est atteint lorsqu'on obtient une coloration bleu-violet indiquée par la diphénylcarbazone lorsqu'il y a un excès d'ions mercuriques (Hg^{++}). L'ionisation très limitée du chlorure mercurique ($HgCl_2$) rend possible l'utilisation de cette méthode titrimétrique pour l'ion chlorure.

Cette méthode peut également convenir à l'analyse d'échantillons d'air une fois que ces derniers ont été recueillis dans un absorbeur ou une solution absorbante dans un impacteur ou à celle d'un échantillon de sol après son extraction avec de l'eau.

On ajoute à une portion aliquote d'échantillon, habituellement 50 ml, un indicateur mixte constitué de 5 g de diphénylcarbazone et de 0,5 g de bleu de bromophénol dissous dans 750 ml d'isopropanol ou d'éthanol à 95 p. 100. Le pH est ensuite ajusté au point de virage jaune avec de l'acide nitrique 0,1 molaire. La solution de bleu de bromophénol est bleue à un pH supérieur à 4,6 et jaune à un pH inférieur à 3, avec un intervalle de changement de couleur compris entre ces deux valeurs. L'échantillon est titré avec du nitrate mercurique 0,141 molaire. L'écart-type relatif est de 3,3 p. 100, et l'erreur relative, de 2,9 p. 100. Les bromures, cyanures et iodures sont dosés comme étant des chlorures. Les ions chromate, ferrique et sulfate interfèrent lorsqu'ils sont présents à plus de 10 mg/l. Cette méthode est rapide et simple. Le point de virage est facilement déterminé sauf dans les eaux turbides et fortement colorées qui masquent le changement de couleur.

11.3.3 Titrage potentiométrique (AWWA, 1976). – Cette méthode sert à detecter une gamme de teneurs en chlorure de l'eau comprise entre 3 ppm et 200 ppm, ce qui équivaut à de 0,15 mg à 10 mg de chlorure dans un échantillon de 50 ml.

Un volume approprié d'échantillon est recueilli. S'il est nécessaire d'éliminer les interférences, la solution est acidifiée à l'acide nitrique. Elle est ensuite titrée avec du nitrate d'argent en employant un système d'électrodes de verre et d'argent-chlorure d'argent. Le point de virage est déterminé de façon potentiométrique. Le système est étalonné avec une solution normalisée

de chlorure de sodium. Il existe de nombreuses interférences: les bromures, iodures et cyanures sont dosés comme étant des chlorures; les ferricyanures, chromates et dichromates produisent une interférence, et on doit les éliminer. En l'absence de substances qui interfèrent, l'exactitude et la précision peuvent atteindre 2,5 p. 100 de la quantité de chlorure présent. Si un traitement préalable est nécessaire pour éliminer les interférences, l'exactitude et la fidélité sont réduites à 5 p. 100 de la quantité présente. Cette méthode s'applique aux échantillons colorés et turbides dans lesquels le point de virage peut être difficile à observer. Cette méthode donne d'excellents résultats en présence d'ions ferriques de phosphate chromique et d'ions ferreux ou d'ions d'autres métaux lourds.

11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

La première analyse qualitative de l'acide chlorhydrique dans l'eau devrait consister à mesurer le pH à l'aide d'un pHmètre ou de papier tournesol. On peut également déterminer la présence de l'ion chlorure en utilisant les méthodes décrites aux sections 11.2 et 11.3.1 sans utiliser toutefois de spectrophotomètre. L'essai est concluant lorsqu'il y a coloration.

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)

11.5.1 Colorimétrie et titrage (Hesse, 1972; Leithe, 1971). – Cette méthode permet de titrer un échantillon d'extrait contenant 0,15 mg à 10 mg de chlorure. Lorsque le titrage se fait avec un échantillon de 20 g, cela équivaut à une teneur en chlorure entre 7,5 ppm et 500 ppm.

Un échantillon d'environ 20 g de sol (2 mm) est recueilli dans une bouteille et agité pendant 30 minutes avec 100 ml d'eau. L'extrait est alors filtré et analysé à l'aide d'une des méthodes décrites dans les paragraphes précédents.

11.5.2 Titrage ampérométrique (AWWA, 1976). – Une portion aliquote d'extrait contenant entre 0,15 mg et 10 mg de chlorure convient à une analyse effectuée à l'aide de cette méthode .

Un extrait de sol est préparé comme à la section 11.5.1 et analysé suivant la méthode décrite au paragraphe 11.3.3.

11.6 Identification du polluant dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon de sol est extrait selon le mode décrit à la section 11.5.1. On se sert de papier tournesol pour trouver la présence d'acide.

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE (REPRODUITES DE L'ANGLAIS)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA. (May, 1981).

Air Products MSDS 1978: Air Products and Chemicals, Inc., Material Safety Data Sheet, "Anhydrous Hydrogen Chloride", Allentown, PA. (March, 1978).

Air Products SGDS 1980: Air Products and Chemicals, Inc., Specialty Gas Data Sheet, "Hydrogen Chloride", Allentown, PA. (1980).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, PA, D-512-67. (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

AWWA 1976: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 408 B,C. (1979).

Braley 1980: Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CCPA 1982: Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, Private Communication. (1982).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

CE 1980a: Schillmoller, C.M., "Alloys to Resist Chlorine, Hydrogen Chloride and Hydrochloric Acid", Chemical Engineering, pp. 161-164. (March 10, 1980).

CE 1980b: Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-131. (November 3, 1980).

CE 1981: Chemical Engineering, Corrosion Advertisement. (October 5, 1981).

CE 1983: Shuker, F.S., "When to Use Refractory Metals and Alloys in the Plant", Chemical Engineering, pp. 81-84. (May 2, 1983).

CG-D-16-77: Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-16-77. (July, 1976).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76. (August, 1975).

Chem. Eng. 1974: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 23, pp. 113-120. (28 October 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978)

C-I-L 1982: Clemmer Industries (1964) Ltd., Nylon Isolating Bushings, Waterloo, Ont., Report No. 82-10-3500. (1982).

Clarke 1975: Clarke, E.G. Clarke, M.L., Veterinary Toxicology, Lea & Febiger Press, Philadelphia, PA. (1975).

CLC 1980: The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices, Association of American Railroads, published by Simmons-Boardman, Omaha, NB. (1980).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Hydrogen Chloride", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (1983).

Cotton 1972: Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York. (1972).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

CRC 1982: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1982).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

Dow 1979: Dow Chemical Company, "Plastic-Lined Piping Systems", Plastic Lined Piping Products, Midland, Mich., Form No. 178-204-80. (1979).

Dow MSDS 1978: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrogen Chloride, Anhydrous, Sarnia, Ontario. (25 September 1978).

Dow MSDS 1979a: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, Technical Grade, Sarnia, Ontario. (20 September 1979).

Dow MSDS 1979b: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, 22°Be, Sarnia, Ontario. (20 September 1979).

Dow MSDS 1980: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, 23°Be, Sarnia, Ontario. (5 May 1980).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

* Du Pont MSDS 1979: Du Pont Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, Montreal, Quebec. (August, 1979).

EAG 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T., Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1978).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

Endress 1979: Endress, A.G., Kitasako, J.T., Taylor, O.C., "Chloride Localization in *Phaseolus vulgaris* Leaves Exposed to Hydrogen Chloride Gas", Cytobios, Vol. 25, No. 99-100, pp. 139-162. (1979).

Endress 1981: Endress, A.G., Taylor, O.C., "Gaseous Hydrogen Chloride Effects on Marigold and Spinach Leaf Cell Ultrastructures", Phyton (Buenos Aires), Vol. 40, No. 2, pp. 127-145. (1981).

Endress and Taylor 1979: Endress, A.G., Taylor, O.C., "Effect of Gaseous Hydrogen Chloride on Plant Leaf Cells and Organelles", Aerosp. Med. Res. Lab. (Tech. Rep.), In Proceedings of the Conference on Environmental Toxicology, No. AMRL-TR-79-68, pp. 343-374. (1979).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227. (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

* Disponible en français (*Fiche technique de sécurité*).

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (October, 1977).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, IN. Not dated.

Granett 1980: Granett, A.L., Taylor, O.C., "Effect of Gaseous Hydrogen Chloride on Seed Germination and Early Development of Seedlings", J. Am. Soc. Hortic. Sci., Vol. 105, No. 4, pp. 548-550. (1980).

Granett 1981: Granett, A.L., Taylor, O.C., "Diurnal and Seasonal Changes in Sensitivity of Plants to Short Exposures of Hydrogen Chloride Gas", Agric. Environ., Vol. 6, No. 1, pp. 33-42. (1981).

Hawley 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, 9th Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York. (1977).

HCG 1981: Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1981).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, p. 85. (1972).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, NY. (1969).

HMIR 1980: World Information Systems, "Hydrochloric Acid Spills from Storage Tank into Texas River", Hazardous Material Intelligence Report. (8 August 1980).

Hooker MSDS 1976: Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Material Safety Data Sheet, "Muriatic Acid", Niagara Falls, NY. (October, 1976).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Kirk-Othmer 1980: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition, Vol. 12, John Wiley & Sons, New York. (1980).

Klein 1957: Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, NY. (1957).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Leithe 1971: Leithe, W., The Analysis of Air Pollutants, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, p. 214. (1971).

Lelieveld 1980: Lelieveld, H.L.M., "A Note on the Effect of Hydrogen Chloride on the Morphology of *Bacillus Subtilis* Spores", J. Appl. Bacteriol., Vol. 48, No. 1, pp. 59-61. (1980).

Lelieveld and Van Eijk 1979: Lelieveld, H.L.M., Van Eijk, H.M.J., "Sterilization by Means of Hydrogen Chloride: Influence of Process Parameters on the Biocidal Activity", J. Appl. Bacteriol., Vol. 47, No. 1, pp. 121-134. (1979).

Lind 1979: Lind, C.T., Drake, J.M., "Phytotoxic Effects of Gaseous Hydrogen Chloride on Corn (*Zea Mays*, L.)", Aerosp. Med. Res. Lab. (Tech. Rep.), IN Proceedings of the Conference on Environmental Toxicology, No. AMRL-TR-79-68, pp. 324-342. (1979).

Linde 1981: Linde Gas Catalog, Union Carbide Canada Limited, Oakville, Ontario. (1981).

Linke 1958: Linke, W.F., Seidell, A., "Solubilities of Inorganic and Metal-Organic Compounds", American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

Matheson 1980: Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, 6th Edition, Matheson Gas Products, East Rutherford, NJ. (1980).

MCA 1970: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet - "Hydrochloric Acid and Hydrogen Chloride", Washington, DC. (1970).

Merck 1983: Windholz, M., et al. (ed.), The Merck Index, 10th Edition, Merck & Company, Inc., Rahway, NJ. (1983).

MHSSW 1976: NATO, Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany. (October, 1976).

Moeller 1958: Moeller, T., Qualitative Analysis, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY, p. 397. (1958).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

NAS 1976: Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants, Division of Medical Sciences, Assembly of Life Sciences, NRC., Chlorine and Hydrogen Chloride, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1976).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S246, Cincinnati, OH. (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA); Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

NRCC 1981: "Acidification in the Canadian Aquatic Environment", National Research Council of Canada, NRCC No. 18475. (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Partington 1968: Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry for University Students, Third Edition, MacMillan and Company, New York, NY. (1968).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

PB216658: Oil and Hazardous Materials, Emergency Procedures in the Water Environment, U.S. Department of the Interior, Federal Water Pollution Control Administration, Northeast Region, Edison, NJ, CWR 10-1, PB216658. (October, 1968).

PC 1981: Personal Communication with Great Lakes Forest Products, Dryden, Ontario. (29 September 1981); and Uniroyal Chemical, Don Mills, Ontario. (30 September 1981).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Personal Communication with RCRI 1982: Personal Communication, Reagent Chemical and Research Inc., Port Arthur, TX. (22 January 1982).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

PPG 1979: PPG Industries Ltd., "Hydrochloric Acid", Material Safety Data Sheet, Pittsburgh, PA. (1979).

Raznjevic 1976: Raznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC. (1976).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY. (1961).

*RTDCR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Canadian Transport Commission, Published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Schott: O.I. Schott Process Systems Inc., Cer-Vit Material Ball Valves, Vineland, N.J. Not dated.

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1977).

Smith 1982: Chemical Resistance. Fiberglass Reinforced Piping Systems, A.O. Smith-Inland Inc., Little Rock, AR, No. 9002. (April 15, 1982).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1971).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, Available from National Library of Medicine, Washington, DC. (1981).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV* Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

Todd 1970: Todd, D.K., The Water Encyclopedia, Maple Press, Port Washington, NY. (1970).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

USDHEW 1977: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

* Disponible en français.

Verschueren 1977: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

Wells 1962: Wells, A.F., Structural Inorganic Chemistry, 3rd Edition, Oxford at the Clarendon Press, London. (1962).

Wilber 1969: Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas Ltd., Springfield, IL. (1969).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1972).

WQCDB-3 1971: Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 3, pp. A69-70. (May, 1971).

WQCDB-5 1973: Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 5, pp. A269-270. (September, 1973).

12.2 Bibliographie

Air Products and Chemicals, Inc., Material Safety Data Sheet, "Anhydrous Hydrogen Chloride", Allentown, PA. (March, 1978).

Air Products and Chemicals, Inc., Specialty Gas Data Sheet, "Hydrogen Chloride", Allentown, PA. (1980).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, PA, D-512-67. (1979).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 408 B, C. (1976).

Association of American Railroads, The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices, published by Simmons-Boardman, Omaha, NB. (1980).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76. (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA. (May, 1981).

Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, 6th Edition, Matheson Gas Products, East Rutherford, NJ. (1980).

Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

Canadian Chemical Producer's Association, Ottawa, Ontario, Private Communication. (1982).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

*Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Chemical Engineering, Corrosion Advertisement. (October 5, 1981).

Clarke, E.G., Clarke, M.L., Veterinary Toxicology, Lea & Febiger Press, Philadelphia, PA. (1975).

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Clemmer Industries (1964) Ltd., Nylon Isolating Bushings, Waterloo, Ont., Report No. 82-10-3500. (1982).

Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants, Division of Medical Sciences, Assembly of Life Sciences, NRC. Chlorine and Hydrogen Chloride, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1976).

Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Hydrogen Chloride", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (1983).

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York. (1972).

*Disponible en français.

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrogen Chloride, Anhydrous, Sarnia, Ontario. (25 September 1978).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, Technical Grade, Sarnia, Ontario. (20 September 1979).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, 22°Be, Sarnia, Ontario. (20 September 1979).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, 23°Be, Sarnia, Ontario. (5 May 1980).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Dow Chemical Company, Plastic Lined Piping Systems, Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan, Form No. 178-204-80. (1979).

Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, D.C, CG-D-16-77. (July, 1976).

*Du Pont Canada Inc., Material Safety Data Sheet - Hydrochloric Acid, Montreal, Quebec. (August, 1979).

Endress, A.G., Kitasako, J.T., Taylor, O.C., "Chloride Localization in *Phaseolus Vulgaris* Leaves Exposed to Hydrogen Chloride Gas", Cytobios, Vol. 25, No. 99-100, pp. 139-162. (1979).

Endress, A.G., Taylor, O.C., "Gaseous Hydrogen Chloride Effects on Marigold and Spinach Leaf Cell Ultrastructures", Phyton (Buenos Aires), Vol. 40, No. 2, pp. 127-145. (1981).

Endress, A.G., Taylor, O.C., "Effect of Gaseous Hydrogen Chloride on Plant Leaf Cells and Organelles", Aerosp. Med. Res. Lab. (Tech. Rep.), IN Proceedings of the Conference on Environmental Toxicology, No. AMRL-TR-79-68, pp. 343-347. (1979).

Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 3, pp. A69-70. (May, 1971).

Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 5, pp. A269-270. (September, 1973).

---

* Disponible en français (*Fiche technique de sécurité*).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (October, 1977).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Granett, A.L., Taylor, O.C., "Effect of Gaseous Hydrogen Chloride on Seed Germination and Early Development of Seedlings", J. Am. Soc. Hortic. Sci., Vol. 105, No. 4, pp. 548-550. (1980).

Granett, A.L., Taylor, O.C., "Diurnal and Seasonal Changes in Sensitivity of Plants to Short Exposures of Hydrogen Chloride Gas", Agric. Environ., Vol. 6, No. 1, pp. 33-42. (1981).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, 9th Edition, Van Nostrand Reinhold Co., NY. (1977).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, p. 85. (1972).

Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Material Safety Data Sheet, "Muriatic Acid", Niagara Falls, NY. (October, 1976).

Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA600/2-77-227. (November, 1977).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, NY. (1969).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Kirby, G.N. "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-131. (November 3, 1980).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition, Vol. 12, John Wiley & Sons, New York. (1980).

Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, NY. (1957).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Leithe, W., The Analysis of Air Pollutants, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, p. 214. (1971).

Lelieveld, H.L.M., Van Eijk, H.M.J., "Sterilization by Means of Hydrogen Chloride: Influence of Process Parameters on the Biocidal Activity", J. Appl. Bacteriol., Vol. 47, No. 1, pp. 121-134. (1979).

Lelieveld, H.L.M., "A Note on the Effect of Hydrogen Chloride on the Morphology of *Bacillus Subtilis* Spores", J. Appl. Bacteriol., Vol. 48, No. 1, pp. 59-61. (1980).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Lind, C.T., Drake, J.M., "Phytotoxic Effects of Gaseous Hydrogen Chloride on Corn (*Zea Mays*, L.)", Aerosp. Med. Res. Lab. (Tech. Rep.), IN Proceedings of the Conference on Environmental Toxicology, No. AMRL-TR-79-68, pp. 324-342. (1979).

Linke, W.F., Seidell, A., Solubilities of Inorganic and Metal-Organic Compounds, American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet - "Hydrochloric Acid and Hydrogen Chloride", Washington, DC. (1970).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

Moeller, T., Qualitative Analysis, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY, p. 397. (1958).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S246, Cincinnati, OH. (April, 1977).

National Research Council of Canada, Acidification in the Canadian Aquatic Environment, NRCC No. 18475. (1981).

NATO, Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany. (October, 1976).

Oil and Hazardous Materials, Emergency Procedures in the Water Environment, U.S. Dept. of the Interior, Federal Water Pollution Control Administration, Northeast Region, Edison, NJ, CWR 10-1, PB216688. (October, 1968).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry for University Students, Third Edition, MacMillan and Company, New York, NY. (1968).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Personal Communication with Great Lakes Forest Products, Dryden, Ontario. (29 September 1981); and Uniroyal Chemical, Don Mills, Ontario. (30 September 1981).

Personal Communication, Reagent Chemical and Research Inc., Port Arthur, TX. (22 January 1982).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

PPG Industries Ltd., "Hydrochloric Acid", Material Safety Data Sheet, Pittsburgh, PA. (1979).

Raznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC. (1976).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY. (1961).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Schillmoller, C.M., "Alloys to Resist Chlorine, Hydrogen Chloride and Hydrochloric Acid", Chemical Engineering, pp. 161-164. (March 10, 1980).

O.I. Schott Process Systems Inc., Cer-Vit Material Ball Valves, Vineland, NJ. Not dated.

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1977).

Shuker, F.S., "When to Use Refractory Metals and Alloys in the Plant", Chemical Engineering, pp. 81-84. (May 2, 1983).

A.O. Smith-Inland Inc., Chemical Resistance. Fiberglass Reinforced Piping Systems, Little Rock, AR, No. 9002. (April 15, 1982).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1971).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

Todd, D.K., The Water Encyclopedia, Maple Press, Port Washington, NY. (1970).

Toxicity Data Base, Toxicity Information On-Line, Available from National Library of Medicine, Washington, DC. (1981).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Union Carbide Canada Limited, Linde Gas Catalog, Oakville, Ontario. (1981).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, IN. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T., Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1982).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

Wells, A.F., Structural Inorganic Chemistry, 3rd Ed., Oxford at the Clarendon Press, London. (1962).

Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollutio, Charles C. Thomas Ltd., Springfield, IL. (1969).

Windholz, M., et al. (ed)., The Merck Index, 10th Edition Merck & Co. Inc., Rahway, NJ. (1983).

World Information Systems, "Hydrochloric Acid Spills from Storage Tank into Texas River", Hazardous Material Intelligence Report. (8 August 1980).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 23, pp. 113-120. (28 October 1974).